

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiolog potravinových a přírodních zdrojů

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v. v. i.

**Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke,
potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave**



Česká zemědělská
univerzita v Praze



VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2025

(Sborník recenzovaných vědeckých prací)

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC STRESSES
ON PROPERTIES OF PLANTS 2025**

(Proceedings of scientific articles)



Česká zemědělská univerzita v Praze

Pořadatelé:

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v. v. i.

**VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH
STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2025**

(Sborník recenzovaných vědeckých prací)

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou

Czech University of Life Science Prague

Institute of Forest Ecology SAS

**Slovak Society for the agricultural, forestry, food and
veterinary science in SAV in Bratislava**

Organizers:

Faculty of Agrobiological Sciences, Food and Natural Resources

Institute of Forest Ecology SAS

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC
STRESSES ON PROPERTIES OF PLANTS 2025**

(Proceedings of scientific articles)

This publication has not undergone language editing

© **Redakčně zpracoval:** doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

Jazyková korektura: Texty příspěvků neprošly jazykovou pravou

Foto na titulní straně: Vliv krupobití na česnek a nízké teploty na ořešák

foto: František Hnilička

Odborný garant konference: František Hnilička (ČZU v Praze)
Margita Kuklová (ÚEL SAV)

Odborní recenzenti: *Mgr. Jana Šlégrová*

Organizační výbor konference:

doc. Ing. František Hnilička, Ph.D. (ČZU)

Ing. Helena Hniličková, Ph.D. (ČZU)

Ing. Margita Kuklová, CSc. (ÚEL)

Ing. Katerína Sládeková (ÚEL)

© Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v. v. i., 2025
ISBN: 978 – 80 – 89408 – 39 – 9

OBSAH

Úvodní slovo	1
<i>L. Bláha, F. Hnilička</i> Nové a málo využívané vlastnosti rostlin v selekci na jejich odolnost vůči stresorům (Review)	2
<i>L. Hájková, M. Možný,</i> Vliv abiotických rizik na vývoj fenologických fází <i>Z. Snopková, D. Bareš,</i> smrku ztepilého (<i>Picea abies</i>) v České republice a..... <i>Z. Žalud</i> na Slovensku	9
<i>E. Ondrušková, Z. Jáno-Pôvodcovia</i> sypaviek v porastoch borovic na <i>šíková, M. Kobza, K.</i> Slovensku	21
<i>Pastirčáková, R. Ostro-</i> <i>vský, L. Sporinová, K.</i> <i>Adamčíková</i> <i>I. Tomášková, A.</i> The presence of selected saccharides in spruce <i>Kalyniukova, M. Samek,</i> trees affected by <i>Gemmamyces piceae</i>	33
<i>R. Modlinger, V. Peš-</i> <i>ková</i> <i>E. Hanzes, N. Britaňák,</i> Vplyv abiotických faktorov na pôdu, produkciu <i>M. Kizeková</i> a biodiverzitu revitalizovaného trávneho porastu	42
<i>M. R. Chowdhury, M.</i> Elucidating the role of lignans in enhancing crop <i>Mehmet, V. Štefúňová,</i> adaptation to abiotic stress through <i>in vitro</i> <i>E. Ivanišová, K. Ražná</i> elicitation followed by biochemical analyses	51
<i>R. Sotolář, J. Šuldes, O.</i> Vliv rostlinných biostimulantů Albit, Altera a Alse <i>Sotolářová, A. Novik</i> na vitalitu a výnos révy vinné	59
<i>M. Bačovčinová, K.</i> Sucho ako kľúčový faktor ovplyvňujúcim <i>Trush, A. Eliášová, P. P.</i> produkciu kvercetinových glykozidov v <i>Lotus</i> sp. <i>Balang</i>	72
<i>B. Jindřichová, L.</i> Vliv abiotických faktorů na rozvoj infekce <i>Maryška, M. Marzieh, L.</i> <i>Leptosphaeria maculans</i> u rostlin <i>Brassica napus</i> <i>Burketová</i>	78
<i>M. Šerý, B. Šerá, H.</i> Exaktní metoda na mechanickou stimulaci klíčení <i>Žarnovičan</i> semen	86
<i>X. Cai, B. Šerá, R.</i> Me-Seed priming with plasma-activated water affects <i>hrabifard, Z. Machala</i> seed germination and seedling growth of <i>Salvia</i> <i>officinalis</i>	91
<i>H. Žarnovičan, B. Šerá,</i> Prelomenie dormancie semien hlohu jednose-..... <i>J. Bokešová, M.</i> Ghulamenného (<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.) – prehľadová štúdia	96
<i>B. Piršelová, N. Kaná-</i> Vplyv výhonkov repy na rast a fyziológiu ovs <i>sová, P. Hozlár, L.</i> Spo-siateho	101
<i>rinová</i> <i>J. Luptáková, L.</i> Zmeny obsahov makroživín a mikroživín <i>Korčoková, S. Tóthová,</i> v rašeline po pridaní drevného popola	105

<i>I. Horvát, V. Mačejovský, E. Takáčová, H. Hybská</i>		
<i>L. Korčoková, J. Luptá-</i> Vplyv aplikácie drevného popola na obsah uhlíka, <i>ková, S. Tóthová, E.</i> dusíka a síry v rašeline		110
<i>Takáčová, V. Mačejovský, I. Horvát, H. Hybská</i>		
<i>M. Bajus, Z. Vivodová,</i> Effects of <i>Papiliotrema laurentii</i> on plants <i>E. Labancová, D.</i> exposed to drought		115
<i>Hačkuličová, K. Holeková, D. Kučerová, A. Horváthová, R. Vadkertiiová, K. Kollárová</i>		
<i>K. A. Mocová, L. Tajna-</i> Účinky hasebných vod lithiových akumulátorů <i>iová, E. Nagyová, H.</i> z elektromobilů na <i>Lemna minor</i> L. <i>Kulajová, M. Martinec,</i>		120
<i>M. Martínková, J. Bindzar, J. Bartáčková, B. Štěpánová, P. Najmanová, J. Karl, O. Suchý, L. Pokorná</i>		
<i>M. Ševcov, K. Holeková,</i> Oxidative reactions of plants to spray insecticide <i>D. Kučerová, D. Hačkuličová, M. Bajus, K. Kollárová, E. Labancová</i>		126
<i>N. Britaňák, K. Hřková, L. Hanzes</i>	Zmeny druhového zloženia trávneho porastu v dôsledku sucha a životné formy rastlín	132
<i>M. Paďšáková, Z. Vivodová, M. Bajus, K. Kollárová</i>	Rozdiely vo fyziologických odpovediach kultivarov bazalky na zvládanie stresu zo sucha	136
<i>D. Sáková, A. Králová, M. Bajus, Z. Vivodová</i>	Rozdiel vo fyziologických odpovediach kultivarov petržlenu (<i>Petroselinum crispum</i> Mill.) na zasolenie	140
<i>J. Kubeš, F. Hnilička</i>	Vliv redukované zálivky na obsah malondialdehydu v listech vybraných genotypů <i>Prunus avium</i> L.	145
<i>S. Kisléghyová, K. Stránská, R. Kuna, P. Boleček, P. Mészáros</i>	Oxidačný stres v listoch sóje vo svetle odrodových pletivových rozdielov pri dvoch dávkach kadmia	150
<i>M. Molnárová, J. Ružičková, B. Lehotská, A. Fagašová</i>	Akumukácia As, Ni A Sb v listoch bazy čiernej (<i>Sambucus nigra</i> L.) na lokalitách zaťažených starou banskou činnosťou v Malých Karpatoch	157

<i>M. Molnárová, M. Bo-</i> Obsah študovaných kovov v zložkách potravinového <i>huš, V. Krajanová, A.</i> reťazca na lokalite bývalého vinohradu	164
<i>Fargašová</i>	
<i>J. Zdařil, V. Steinhau-</i> Odezva hrachu na prostředí kontaminované směsí <i>serová, Š. Zezulka, M.</i> léčiv	170
<i>Kummerová</i>	
<i>M. Ševcov, K. Šípošová-</i> The effects of pesticide on the activity of <i>Holeková, M. Bajus, D.</i> superoxide-dismutase and photosynthetic pigment	174
<i>Kučerová, K. Kollárová,</i> concentrations in maize	
<i>E. Labancová</i>	
<i>L. Mocsonokyová, M.</i> Potenciálne využitie kostravy červenej (<i>Festuca</i> <i>Molnárová, A. Farga-rubra</i> L.) na fytoremediáciu kadmíom	181
<i>šová</i> kontaminovaného územia	
<i>V. Vargová, M. Jančo-</i> Produkcia biometánu z d'atelinotravných	188
<i>vá, M. Kizeková</i> miešaniek po aplikácii digestátu	
<i>J. Čunderlík</i> Akumulácia koreňovej hmoty a uhlíka v travných	194
ekosystémoch	
<i>P. Hric, L. Vozár, P.</i> Účinok rôznej úpravy alginitu na vybrané rastovo- <i>Kovár, M. Rašovský</i> produkčné parametre trávnik v bezzávlahových	199
podmienkách	
<i>A. Kováčik, J. Žiarovs-</i> Transkripčná aktivita vybraných WRKY génov <i>ká, D. Moravčíková</i> sóje v odpovedi na listovú aplikáciu nanočastíc	204
zinku	
<i>J. Žiarovská, D. Morav-</i> Molekulárna odpoveď láskavca na aplikáciu Cd a	210
<i>číková</i> Ai mapovaná na úrovni polymorfizmu kódujúcich oblastí	
<i>P. Kovár, L. Vozár, P.</i> Hydrosorbent ako stresový faktor	216
<i>Hric, M. Rašovský</i>	
<i>M. Kuklová, J. Kukla,</i> Akumulácia Cd a Mn v asimilačných orgánoch	222
<i>K. Sládeková, I.</i> Mihál rastlín vystavených emisiám Mg z ťažobného	
priemyslu	
<i>R. Kuna, P. Boleček, K.</i> Odpoveď na kadmiový stres při dvoch odrodách	228
<i>Stránska</i> sóje počas skorej ontogenézy	
<i>J. Tomaškinová, J. To-</i> Vplyv abiotických environmentálnych stresorov	235
<i>maškin</i> na fluorescenciu a obsah chlorofylu <i>Zea mays</i> (L.)	
<i>M. Kaplan, K. Buczyns-</i> Charakterizace a energetické zhodnocení odpadu z	245
<i>ki, G. Maj, K. E. Kli-</i> výroby vína u vybraných odrůd révy vinné	
<i>mek, A. Borkowska, R.</i> pěstované v chladném prostředí	
<i>Sotolář, R. Danko, M.</i>	
<i>Baroň</i>	
<i>R. Danko, R. Sotolář,</i> Energetický potenciál výhonů révy v závislosti na	253
<i>M. Baroň, M. Kaplan,</i> odrůdě a systému vedení	
<i>K. E. Klimek, G. Maj</i>	
<i>R. Sotolář, T. Holcma-</i> Vliv podnoží a závlahy na uvologické a výnosové	262
<i>nnová, R. Danko</i> charakteristiky odrůdy Hibernál	
<i>R. Sotolář, M. Stehlík,</i> Vliv organického hydrosorbentu na růst a vitalitu	272
<i>F. Hnilička, O. Sotolá-</i> keřů révy v prvních letech po výsadbě	

řová, T. Rýgl, J. Šuldes

<i>F. Hnilička, R. Sotolář, T. Rýgl, L. Lampíř, M. Koudela</i>	Monitoring těžkých kovů z dopravy v hroznech a vinné révy	282
<i>R. Sotolář, L. Lampíř, O. Sotolářová, R. Danko</i>	Srovnání hlavních parametrů uvologických, analytických a mortalit révových keřů odrůd Hibernál a Cerason naštěpovaných na několika podnožích během 16 let	296
<i>O. Sotolářová, R. Sotolář, T. Rýgl, F. Hnilička</i>	Fyziologické rozdíly mezi geografickými ekotypy zástupců rodu rozchodníkovec (<i>Hylotelephium</i> sp.)	307
<i>R. Sotolář, F. Hnilička, T. Rýgl, L. Lampíř, O. Sotolářová, R. Danko, T. Holcmanová, L. Jan</i>	Různé styly ošetřování příkmenného pásu ve vinici a jeho vliv na kvalitu rostlin a hroznů	317
<i>L. Lampíř, R. Sotolář, O. Sotolářová, J. Šuldes</i>	Srovnání pokusů se závlahou a různými podnožemi na dvou odlišných lokalitách u odrůdy Sauvignon Blanc	333
<i>R. Sotolář, T. Rýgl, L. Lampíř, O. Sotolářová, L. Fibingrová, F. Hnilička</i>	Hodnocení vlivu růstu révy při využití různých podnoží a hlinitokřemičitého minerálu v simulovaných suchých podmínkách	353
<i>R. Sotolář, T. Rýgl, L. Lampíř, O. Sotolářová, J. Šuldes, F. Hnilička</i>	Vliv různých podnoží a závlahy na stres, vitalitu a výnos u sledovaných odrůd révy	369
<i>T. Mráz</i>	Nabídka firmy Ekotechnika	392
<i>M. Barna</i>	Folia Oecologica	394
<i>E. Karská</i>	Vědecké časopisy ČAZV	395

JMENNÝ REJSTŘÍK

A			E		
Adamčíková	.....	21	Eliášová	.....	72
B			F		
Bačovčinová	.....	72	Fargašová	.....	157, 164, 181
Bajus	.....	115, 126, 136, 140, 174	G		
Balang	.....	72	Ghulam	.....	96
Bareš	.....	9	H		
Barna	.....	394	Hačkuličová	.....	115, 126
Baroň	.....	245, 253	Hájková	.....	9
Bartáčková	.....	120	Hanzes	.....	42, 132
Bindzar	.....	120		.....	2, 145, 272,
Bláha	.....	2	Hnilička		282, 307, 317, 353, 369
Bohuš	.....	164	Holcmannová	.....	262, 317
Bokešová	.....	96	Holeková	.....	115, 126
Boleček	.....	150, 228	Horvát	.....	105, 110
Borkowska	.....	245	Horváthová	.....	115
Britaňák	.....	42, 142	Hozlár	.....	101
Buczynski	.....	245	Hrčková	.....	132
Burketová	.....	78	Hric	.....	199, 216
C			Hybská	.....	105, 110
Cai	.....	91	CH		
Č			Chowdhury	.....	51
Čunderlík	.....	194	I		
D			Ivanišová	.....	51
Danko	.....	245, 253, 262, 296, 317			

J

Jan		317
Jančová	.....	188
Jánošíková	.....	21
Jindřichová	.....	78

K

Kalyniukova		33
Kanášová	.....	101
Kaplan	.....	245, 253
Karl	.....	120
Karská	.....	395
Kisléghyová	.....	150
Kizeková	.....	42, 188
Klimek	.....	245, 253
Kobza	.....	21
Kollarová	.....	115, 126, 136, 174
Korčoková	.....	105, 110
Koudela	.....	282
Kováčik	.....	204
Kovár	.....	199, 216
Krajanová	.....	164
Králová	.....	140
Kubeš	.....	145
Kučerová	.....	115, 126, 174
Kukla	.....	222
Kuklová	.....	222
Kulajová	.....	120
Kummerová	.....	170
Kuna	.....	150, 228

L

Labancová		115, 126, 174
Lampíř	.....	282, 296, 317, 333, 353, 369
Lehotská	.....	157
Luptáková	.....	105, 110

M

Mačejovský		105, 110
Machala	.....	91
Maj	.....	245, 253
Martinec	.....	120
Martínková	.....	120
Maryška	.....	78
Marzieh	.....	78
Mehmet	.....	51
Mehrabifard	.....	91
Mészáros	.....	150
Mihál	.....	222
Mocová	.....	120
Mocsonokyová	.....	181
Modlinger	.....	33
Molnárová	.....	157, 164, 181
Moravčíková	.....	204, 210
Možný	.....	9
Mráz	.....	392

N

Nagyová		120
Najmanová	.....	120
Novik	.....	59

O

Ondrušková		21
Ostrovský	.....	21

P

Padyšáková		136
Pastířčáková	.....	21
Pešková	.....	33
Piršelová	.....	101
Pokorná	.....	120

R

Rašovský		199, 216
Ražná	.....	51
Ružičková	.....	157
Rýgl	.....	272, 282, 307, 317, 353, 369

S

Sáková		140
Samek	.....	33
Sládek	.....	222
Snopková	.....	9
		59, 245, 253, 262, 272, 282, 296, 307, 317, 333, 353, 369
Sotolář	.....	
		59, 272, 296, 307, 317, 333, 353, 369
Sotolářová	.....	
		21, 101
Sporinová	.....	
Stehlík	.....	272
Steinhauserová	.....	170
Stránska	.....	150, 228
Suchý	.....	120

Š

Šerá		86, 91, 96
Šerý	.....	86
Ševcov	.....	126, 174
Šípošová- Holeková	.....	51, 174
Štěpánová	.....	120
Šuldes	.....	59, 272, 333, 369

T

Tajnaiová		120
Takáčová	.....	105, 110
Tomaškin	.....	235
Tomaškinová	.....	235
Tomášková	.....	33
Tóthová	.....	105, 110
Trush	.....	72

V

Vadkertiová		115
Vargová	.....	188
Vivodová	.....	115, 136, 140
Vozár	.....	199, 216

Z

Zdařil		170
Zezulka	.....	170

Ž

Žalud		9
Žarnovičan	.....	86, 96
Žiarovská	.....	204, 210

ÚVODNÍ SLOVO

Před zahájením letošního ročníku konference jsme přemýšleli, jakým způsobem uvést náš sborník a celou konferenci, abychom se neopakovali. Musíme konstatovat, že je to za ty uplynulé ročníky stále těžší, ale důležité je, že Vy všichni máte o naši konferenci stále zájem a to nás všechny motivuje k dalším aktivitám. Doufáme, že letošní motto reakce rostlin na současný biotický a abiotický stres a možnost jejich eliminace je vhodně vybráno.

V rámci letošního ročníku opět zazní mnoho přednášek a plakátových sdělení, které zahrnují nejenom již klasické stresory, kterými bezesporu jsou vodní deficit, rizikové látky v prostředí, ale také biotické faktory, především antropogenní působení. V rámci letošního ročníku bude naše pozornost zaměřena na problematiku vlivu stresorů, které souvisí nejenom se změnou klimatu, ale také antropogenní činností. Právě tato problematika se dostává do popředí zájmu především s ohledem na kvalitu a bezpečnost potravin. Vedle potravního řetězce tyto látky ovlivňují nejenom terestrické, ale především vodní prostředí, kde ovlivňují ekosystémy. Na řadu otázek, které si klade nejenom odborná, ale i laická veřejnost ještě zcela nedokážeme odpovědět, ale postupně odkrýváme jednotlivé souvislosti a snažíme se pochopit interakci mezi rostlinou a prostředím, včetně jejich přizpůsobení se stresorům. Dalším našim cílem je obeznámit nejenom odbornou, ale i laickou veřejnost s možností eliminace negativních vlivů vnějšího prostředí na rostliny, a to za využití antistresových látek.

Obdobně jako v předcházejících letech jsou velmi podnětné příspěvky, které se zaměřují na popis a využití nových metodických postupů a jejich aplikaci ve stresové fyziologii rostlin. Nemůžeme však opomenout i pohled dnes již klasických metod. Je velmi důležitý komplexní pohled na rostlinu, jako na celek, a ne se zaměřovat pouze na určitou, i když významnou problematiku.

Zároveň jsme velmi rádi, že si naši konferenci do svých diářů a kalendářů stále více zařazují i začínající vědci, studenti apod. Právě i pro ně jsou určena tato setkávání a naším přáním je, aby tento trend nadále pokračoval.

Naším přáním je, aby i letošní ročník byl inspirující, podnětný a přátelský, ale nikoliv stresující. Na shledanou v roce 2026 ve Zvolenu.

Organizační výbor konference

NOVÉ A MÁLO VYUŽÍVANÉ VLASTNOSTI ROSTLIN V SELEKCI NA JEJICH ODOLNOST VŮČI STRESORŮM (REVIEW)

NEW AND UNDERUTILIZED PLANT FEATURES SELECTED FOR THEIR RESISTANCE TO STRESSORS (REVIEW)

Ladislav Bláha¹, František Hnilička²

¹ U Stárovny 674, 156 00, Praha Zbraslav, emeritní pracovník CARC Praha Ruzyně,
opidum@volny.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra botaniky a fyziologie rostlin,
Kamýcká 129, 165 21 Praha – Suchbátka, hnilicka@af.czu.cz

Summary

New traits are being discovered and exploited to improve plant resistance to various stressors. These traits can be broadly divided into physiological, morphological and molecular traits. Traits that enhance stress tolerance are key to the development of resistant crops. This should be defined as the ability to cope with stress conditions through defensive responses (stress tolerance/stress avoidance), which allows maintaining stable and quality yields. It is necessary to know not only how plants react to various stresses separately, but also to their combinations that exist in the natural environment, how they adapt and increase their resistance to them.

Key words: plant stress, plant resistance, important traits, future solution

Souhrn

Objevují a využívají se nové vlastnosti ke zlepšení odolnosti rostlin vůči různým stresorům. Tyto vlastnosti lze obecně rozdělit na fyziologické, morfologické a molekulární znaky. Vlastnosti, které zvyšují toleranci vůči stresům jsou klíčové pro vývoj odolnosti plodin. Ta by měla být definována jako schopnost vyrovnat se se stresovými podmínkami díky obranným reakcím (tolerance stresu či vyhýbání se stresu), která umožňuje udržení stabilních a kvalitních výnosů. Je třeba zaměřit se na zlepšení tolerance vůči stresu a plasticity prostřednictvím kombinace genetických a fyziologických mechanismů. Je nutné vědět nejen to, jak rostliny reagují na různé stresy odděleně, ale hlavně na jejich kombinace, které v přirozeném prostředí existují, jak se na ně adaptují a zvyšovat odolnost vůči nim.

Klíčová slova: stres rostlin, odolnost rostlin, důležité vlastnosti, budoucnost řešení

ÚVOD

Výzkum odolnosti vůči stresorům je poměrně pokročilý, ale většinou se řeší individuální stresor a jeho vliv na vybrané vlastnosti rostlin.

Budoucnost výzkumu stresu rostlin se zaměřuje na vývoj plodin odolných vůči negativním vlivům vnějšího prostředí prostřednictvím hlubšího pochopení stresových reakcí a

paměti rostlin v kombinaci s pokročilými technologiemi (např. nanotechnologie atd.). To zahrnuje to, jak rostliny reagují na kombinované a sekvenční stresy, také i využití interakcí rostlinného mikrobiomu a zkoumání stresové paměti pro zvýšení adaptability plodin.

Tento trend nepřímo potvrzuje konstatování na vědeckých radách výzkumných ústavů bývalého vedoucího šlechtitelské stanice v Úhřeticích (Miloš Haniš), že odrůda, je-li dobrá, tak je dobrá téměř ve všech znacích na které se šlechtí, autor výroku tedy mluvil doslova o kombinované vlastnosti v předstihu mnoha let.

Reakce rostlin na tyto stresové podmínky zahrnuje řadu fyziologických a molekulárních změn, které vedou k modulaci architektury kořenového systému (změny délky kořenů, délky a hustoty bočních kořenů), k regulaci průduchů, vodního potenciálu listů a množství kutikulárního vosku. Jde o schopnosti selektivně přijímat základní zdroje, ukládat je a dodávat je různým částem rostliny, generovat energii potřebnou pro buněčné funkce, provádět opravy pro udržení rostlinných pletiv, komunikovat mezi částmi rostlin, spravovat stávající strukturální prvky a měnit tvar během vývoje, aby byly efektivní v různých prostředích.

Existuje mnoho mechanismů, které rostliny používají k obraně proti stresu, jako jsou například hromadění aminokyselin a rozpustných cukrů v buňkách, vytváření voskových vrstev kolem kořenů, které zabraňují ztrátě vody atd.

Obecně vzato, budoucnost výzkumu stresů u rostlin bývá shrnována přibližně takto:

1. Změna zaměření: Výzkum se přesouvá od jednotlivých abiotických stresů ke zkoumání toho, jak rostliny reagují na více souběžných stresů v reálných polních podmínkách. **Role mikrobiomů** si získává na pozornosti. V rámci **sekvenčních stresů** se prioritou stává i pochopení toho, jak rostliny reagují na stresy, které se vyskytují během růstu a vývoje jeden po druhém postupně. Může dojít i ke kompenzaci negativního působení předchozího stresu následným stresem.

2. VYUŽITÍ STRESOVÉ PAMĚTI ROSTLIN, tzv. Stresový priming. Působení mírného stresu (=priming) může zvýšit odolnost rostlin vůči následným, závažnějším stresům (stresová paměť). Zkoumá se, jak je stresová paměť kódována na molekulární, buněčné a celorostlinné úrovni, včetně somatické, mezigenerační a transgenerační paměti. **Přeprogramování rostlin:** Pochopení stresové paměti může umožnit „přeprogramovat“ genotypy (metody šlechtění).

3. POKROČILÉ TECHNOLOGIE. Zobrazovací techniky: Pro detailní studie rostlin se vyvíjejí nerušivé zobrazovací techniky, jako je počítačová tomografie, magnetická rezonance a pozitronová emisní tomografie, analýza snímků a spektrálních dat. Jedná se i o **nanotechnologie**.

4. VÝVOJ PLODIN ODOLNÝCH VŮČI STRESOVÉMU PROSTŘEDÍ, Cílené šlechtění: Pokroky v editaci genomu, genomových asociačních studiích (GWAS) a objevování klíčových genů se používají k vývoji (šlechtění) odrůd plodin odolných vůči stresům. Experimentální podmínky přímo v terénu, jsou klíčové pro testování účinnosti těchto nových odrůd.

Množství literatury k problematice v tomto článku hodnocené, tedy k jednotlivým tématům je velmi mnoho, nelze citovat stovky prací, proto jsou zde dále uvedeny jen citace, které jsou úvodem do dané problematiky.

A/ PŘEHLED VYBRANÝCH ZNAKŮ A VLASTNOSTÍ ROSTLIN

KOŘENY

Důležitým faktorem je poměr kořenů a nadzemní části, který představuje jeden ze základních velmi významných znaků, který může ovlivnit celkový zdravotní stav rostliny a komplexní fyziologickou úroveň analyzovaných genotypů. Je velmi důležité analyzovat změny poměru kořenů a nadzemní části během vegetačního období ve vztahu k dalším znakům rostlin, abychom získali představu o vlivu tohoto poměru na metabolické procesy, růst, vývoj atd. V případě vysoké hodnoty tohoto poměru (vysoký podíl kořenů) existuje s velkou pravděpodobností možnost nejen absorbovat více živin z půdy, což pomůže zvýšit nadzemní biomasu a velmi pravděpodobně také zvýší odolnost vůči stresovým faktorům /1/.

Rychle se vyvíjející kořenový systém, hloubka pronikání do půdy, jeho objem, příjem živin atd. Jsou tedy známé vlastnosti, které mohou ovlivnit odolnost vůči stresorům. Velký význam však má i komunikace kořenů, zejména sousedních rostlin v jejich porostu, která je poměrně málo prozkoumána.

Rostliny komunikují mezi sebou nejen látkami uvolňovanými do atmosféry ale i prostřednictvím svých kořenů, aby koordinovaly kolektivní obranu proti stresorům, jako je sucho nebo nedostatek živin. Tato komunikace se primárně děje prostřednictvím signálů mezi kořeny a současně též interakcí s mikrobiomem rhizosféry. Pomáhá rostlinám adaptovat se a přežít tím, že se spouští ochranné mechanismy u sousedních rostlin. Jedná se o poměrně velmi dobře literárně zpracovanou problematiku, která by v rámci “stresové fyziologie“ vyžadovala samostatnou literární rešerši.

MIKROBIOM ROSTLIN

Mikrobiom kořenů a mikrobiom nadzemní části je organizované společenství mikroorganismů kolonizující jakýkoliv prostor.

Mikrobiom rostlin hraje klíčovou roli pro růst rostlin a následnou produkci potravin z nich. V posledních letech mu proto byla věnována zvýšená pozornost. Rostliny žijí v úzkém spojení s různými mikrobiálními společenstvy, označovanými jako rostlinný mikrobiom žijícími jak uvnitř (endosféra), tak vně (episféra) rostlinných pletiv. Rostlinný mikrobiom hraje stěžejní roli v ekologii a fyziologii rostlin včetně odolnosti rostlin vůči abiotickým stresorům. Předpokládá se, že základní rostlinný mikrobiom obsahuje mikrobiální druhy nezbytné pro zdraví rostlin a pro schopnost růstu rostliny.

(Poznámka: Podobně jako u rostlin se savčí střevní mikrobiom ukázal jako klíčový regulátor fyziologie hostitele. Následná koevoluce mezi hostitelem a jeho střevní mikrobiotou hraje klíčovou roli u adaptace savců na jejich rozmanitý životní styl).

Někteří autoři navrhuji, že bychom měli brát stejný zřetel na mikrobiom, jako na rostlinu samotnou. Z praktického hlediska pak zvláště na rhizosférický mikrobiom, jež je v přímém kontaktu s půdou a pro zemědělsky významné plodiny představuje prostor pro modulaci a například skrze inokulaci PGPR, což následně vede ke zvýšení jejich produktivity. U rostlin jsou mikrobiomy, obsahující široké spektrum bakterií, hub a virů, klíčové pro jejich zdraví a odolnost vůči různým chorobám, a to jak v kořenech, tak ve stoncích i listech /2, 3, 4, 5/.

SVAZKY CÉVNÍ

Cévní svazky hrají důležitou roli v transportu živin a mají velký vliv na výnos plodin. Jejich vlastnosti ovlivňují schopnost rostliny transportovat vodu, živiny a fotosyntézu, což ovlivňuje růst, výnos a celkovou kondici.

Dá se vyhledat hodně prací s tematikou „Přerušení transportu v cévních svazcích v důsledku sucha“ (přibližně: Interruption of transport within vascular bundles by drought conditions).

Sucho může vážně narušit transport v cévních svazcích, a to především v xylému a floému. V xylému může sucho způsobit **embolii**, kdy vzduchové bubliny blokují tok vody. Ve floému může sucho vést ke zvýšené koncentraci cukru v určitých zónách a narušit pohyb vody, což může vést k selhání floému.

Jak uvádí /5/ první suchozemské rostliny, které se z vody dostaly na břeh, byly velmi malého vzrůstu a přežívaly jen v bezprostřední blízkosti vody. Asi před 400 miliony let se ale jejich vzrůst začal zvyšovat, vznikaly rozmanitější formy a zároveň začaly osidlovat sušší stanoviště. Zatímco první cévnaté rostliny soustředily svá vodivá pletiva ve válci uprostřed stonku, skoro žádné žijící rostliny si toto uspořádání neudržely. Tento zdánlivě bezvýznamný poskytuje klíč k rozluštění celé této kapitoly evoluce.“

Z nového objevu vyplývá, že původní válcovité uspořádání vodivých pletiv ve středu stonku se stává s přibývajícím velikostí rostliny, a tedy tloušťkou vodivého válce, k šíření embolie náchylnější. S větším množstvím vodivých drah je totiž ve válci i více cest, které umožňují nežádoucí šíření embolie.

Období sucha přežívají spíše rostliny, jejichž vodivá pletiva jsou uspořádána do úzkých vláken. Pokud jsou cévice shluklé pohromadě, poskytují jejich stěny četná spojení, a tedy spoustu nezávislých příležitostí pro šíření embolie. V úzkém vlákně jsou cévice seřazeny jedna za druhou, takže embolie musí překonávat každou jednotlivou stěnu mezi nimi. Je tedy mnohem vyšší pravděpodobnost, že se někde zastaví a rostlina přežije“ /5/.

Obecně platí, že silná sucha jsou spojována s odumíráním lesů v regionálním měřítku po celém světě. Detailnější výklad možností úmrtí rostliny za sucha je uveden v práci /6/. Sucho může narušit funkci cévních svazků rostlin, a to především mechanismem kavitace a embolie, které narušují vodní sloupec v xylému. Toto narušení brání transportu vody a živin, což v konečném důsledku ovlivňuje přežití a růst rostlin /7/.

Platí tedy, že cévní svazky vykazují několik možných selekčních znaků souvisejících s jejich počtem, velikostí a uspořádáním. Tyto znaky jsou klíčové pro strukturu, funkci a adaptaci rostlin na různá prostředí. Mezi klíčové selekční znaky patří počet cévních svazků, jejich velikost (plocha a průměr), poměr xylému k floému, hustota cévních svazků a celkové uspořádání v rostlinném pletivu.

ZVUKY ROSTLIN

Ultrazvukové zvuky vydávané rostlinami ve stresu se šíří vzduchem a jsou zdá se velmi informativní /8/. Vydávané zvuky odhalují typ a stav rostliny. Zvuky rostlin lze detekovat a interpretovat zejména ve skleníkovém prostředí (uzavřený prostor). Zvuky šířící se vzduchem vydávané stresovanými rostlinami však dosud nebyly mnoho zkoumány. Stresované rostliny vydávají zvuky šířící se vzduchem lze zaznamenat na dálku a klasifikovat. Zaznamenané jsou podle literatury například ultrazvukové zvuky vydávané rostlinami rajčat a tabáku uvnitř akustické komory a ve skleníku. Současně jsou měřeny i fyziologické parametry rostlin. Stresované rostliny vykazují změněné fenotypy, včetně změn barvy, vůně, tvaru.... Vyvinuty jsou modely, které dokáží identifikovat stav rostlin, včetně úrovně dehydratace a poškození, pouze na základě vydávaných zvuků. Tyto informativní zvuky mohou být detekovatelné i

jinými organismy /9, 10, 11, 12/. Emise zvuků rostlin, v ultrazvukovém rozsahu ~20–100 kHz, mohou být pravděpodobně detekovány i ze vzdálenosti 3–5 m mnoha savci a hmyzem. Jsou již známy i zvuky poškozených rostlin, například posekaných trav. Z některých údajů lze předpokládat, že je či bude možno detekovat ze „zvuků rostlin“ zda jsou ve stresu, popřípadě v jakém typu stresu /13/.

B/ SEMENA - OČKOVÁNÍ VLIV NA ODOLNOST VŮČI STRESORŮM

Kvalitní, a navíc vitální semeno je většinou díky „vyšší“ úrovni metabolismu a během další vegetace i zdrojem vyšší odolnosti vyrůstající rostliny vůči abiotickým stresorům. Známa je i reakce na užitečnou mikrofloru, která má vliv na klíčící semeno, čehož lze využít díky lépe rostoucí rostlině ke zvýšené odolnosti vůči fyzikálním (ale i biotickým) stresorům. Výkonná plodina bývá odolnější vůči více negativním faktorům najednou (geneticky podmíněno) a umělé ovlivnění vyšší výkonnosti díky očkování semen může být dalším zdrojem této odolnosti /14/.

Mikrobiální ošetření osiva, známé také jako biologické ošetření osiva, zahrnuje aplikaci prospěšných mikroorganismů na semena před výsadbou. Tyto mikroorganismy, převážně bakterie nebo houby, mohou zlepšit klíčivost, podpořit růst rostlin a chránit je před chorobami a škůdci. Tato ekologická praxe nabízí udržitelnou alternativu k tradičním chemickým ošetřením /15/.

Mikrobiální inokulanty aplikované k ošetření osiva dodávají mikroorganismy přímo do rhizosféry rostliny – tedy do úzké zóny půdy obklopující kořeny, kde rostliny přímo interagují s mikroorganismy /16/. Jedná se o zónu intenzivní mikrobiální aktivity, kde růst rostlin a mikroorganismů závisí na vzájemném poskytování živin a široké škály dalších sloučenin, včetně regulátorů růstu rostlin a antibiotik. Mnoho prospěšných mikroorganismů zemědělského významu kolonizuje rhizosféru a má schopnost zvyšovat růst rostlin prostřednictvím řady mechanismů

Očkování semen je považováno za jednu z nejlepších metod podpory udržitelného zemědělství, kde lze zlepšit fyzikální a fyziologické vlastnosti semen, což usnadní výsadbu, zvýší růstové indexy a zmírní abiotický a biotický stres. (Každá plodina má specifický postup, resp. specifickou mikroflóru!).

Očkování semen bylo testováno na semenech různých druhů rostlin s různými rozměry, formami, texturami a typy klíčení. Prospěšné rostlinné mikroorganismy (PBM), jako jsou rhizomá specifický a houby naočkováné inokulací semen, mohou zvýšit klíčivost semen, výkonnost rostlin a toleranci vůči biotickému (např. patogenům a škůdcům) a abiotickému stresu (např. soli, suchu a těžkým kovům) a zároveň snížit používání agrochemických vstupů /17/.

C/ MULTIFAKTORIÁLNÍ A SEKVENČNÍ STRESY FYZIOLOGIE CELÉ ROSTLINY PROTI STRESU

Rostliny pro budoucí klima? Předpokládá se reakce a adaptace na kombinované, multifaktoriální a sekvenční (postupně po sobě nastupující) stresy.

Dopad více stresových podmínek na rostliny byl nedávno označen jako „multifaktoriální stresová kombinace“ (MFSC) a definován jako výskyt 3 nebo více stresorů, které působí na rostliny současně nebo postupně.

Zjistilo se, že s rostoucím počtem a složitostí stresorů, které současně ovlivňují rostlinu, dramaticky klesá růst a stupeň přežití rostlin, a to i v takovém případě, že individuální úroveň každého jednotlivého stresu, který se podílí na takové „multifaktoriální stresové kombinaci“, je

tak nízká, aby neměla významný vliv. Jedná se de-facto o nový koncept multifaktoriální stresové kombinace /18/.

Lidská činnost způsobuje globální změnu v rostlinném prostředí, která zahrnuje významný nárůst počtu a intenzity různých stresových faktorů. Patří mezi ně kombinace více abiotických a biotických stresorů, které současně nebo postupně ovlivňují rostliny a mikrobiomy a způsobují významný pokles růstu rostlin, výnosu a celkového zdraví /19/.

Je pravděpodobné, že vícestranný přístup pomůže zmírnit některé z dopadů multifaktoriálních stresových kombinací na výnos rostlin a celkové zdraví /19, 20, 21/

Takový přístup by integroval laboratorní, komorové, skleníkové a polní experimenty s reakcemi rostlin na multifaktoriální stresové kombinace....., Rovněž by byl ale nutný sběr nového biologického materiálu planých rostlin a mikrobiomů z různých míst nebo oblastí vystavených multifaktoriální stresové kombinaci s cílem překonat výzvu spojenou s kombinací multifaktoriálního stresu /18, 19/.

DISKUSE

Malý základní počet využívaných plodin ve výživě lidstva je velmi nevýhodný z ekologického hlediska a zabezpečení lidských potřeb. Vzhledem k dlouhodobé genetické erozi, rostoucí podobnosti odrůd atd. je nutné využít příležitostí, které nabízejí národní parky a další lokality, tj. k hledání nových genotypů pro šlechtění rostlin nebo jako nové plodiny /1, 22/.

Druhý nepříznivý trend, nárůst podobnosti kultivarů, se objevil především ve 20. století. Šlechtění za účelem zvýšení výnosu, kvality a odolnosti vůči škůdcům a chorobám vedlo ke zúžení genofondu a genetické rozmanitosti. Kultivary jsou si morfologicky a fyziologicky podobnější. To je nevýhodný proces z ekologického hlediska /23, 24/.

Existuje však velké množství planě rostoucích rostlin, které dosud nebyly prozkoumány a rostou v extrémních lokalitách, a to i druhy a rody příbuzné hlavním plodinám, proto pravděpodobně mají požadované vlastnosti pro nové klimatické a půdní podmínky a jsou i komplexně odolné vůči více stresorům díky jejich fylogenezi /22, 25/.

ZÁVĚR

Pozornost výzkumu by měla být perspektivně soustředěna na výzkum těch znaků, které mají vliv na komplexní odolnost vůči abiotickým stresorům.

V této rešerši jsou uvedeny vybrané znaky a vlastnosti rostlin, které jsou v „pozadí“ komplexnější odolnosti (vůči více znakům) rostlin vůči stresorům.

Nutné je nejen pochopení, jak rostliny reagují na různé stresy jednotlivě, ale také zejména na jejich kombinace, což je v přírodě běžné a jak se jim přizpůsobují. Důležité je pochopení zlepšení tolerance vůči stresu a plasticity prostřednictvím kombinace genetických a fyziologických mechanismů.

Znaky kořenů, vlastnosti svazků cévních, komunikace rostlin na různé úrovni, mikrobiom a jeho reakce na vnější prostředí včetně jeho vlivu na rostlinu, očkování semen vhodnou mikroflórou a celá řada dalších vlastností a ovlivňování rostlin jsou nedostatečně využívané při výběru pro odolnost rostlin vůči více stresorům působícím současně či postupně v průběhu růstu a vývoje.

LITERATURA

- /1/ Bláha, L. Importance of root-shoot ratio for crops production: A review. *Current Topics in Agricultural Sciences*, **1**, 2021: 37–49.
- /2/ Akhtar, M.S., Swamy, M.K., Sinniah, U.R. Natural bio-active compounds. *Natural bio-active compounds*, **1**, 2019: 1–608.
- /3/ Basit, A., Shah, S.T., Muntha, S.T., Mohamed, H.I. Plant growth-promoting Rhizobacteria (PGPR) as biocontrol agents for viral protection. In *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management* (pp. 187-225). Cham: Springer International Publishing, 2021.
- /4/ <https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=20591>
- /5/ <https://www.southampton.ac.uk/news/2024/01/plant-microbiome.page>
- /6/ Bouda, M., Brett A. Huggett, K.A. Prats, J. . Wason, J.P. Wilson, C., Brodersen R. Hydraulic failure as a primary driver of xylem network evolution in early vascular plants., *Science*, 2022
- /7/ McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Pūaut, j., Sperry, J., West, A., Williams, D.G., Yezpe, E. A. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New phytologist*, **178**, 2008: 719–739.
- /8/ McElrone, A.J., Choat, B., Gambetta, G.A., Brodersen, C.R. Water uptake and transport in vascular plants. *Nature Education Knowledge*, **4**, 2013: 6.
- /9/ Khait, I., Lewin-Epstein, O., Sharon, R., Saban, K., Goldstein, R., Anikster, Y., Zeron, Y., Agassy, Ch., Nizan, S., Sharabi. G., Perelman, R., Boonman, A., Sade, N., Yovel, Y., Hadany, L. Sounds emitted by plants under stress are airborne and informative. *Cell*, **186**, 2023: 1328–1336.
- /10/ Karban, R. Plant behaviour and communication. *Ecology letters*, **11**, 2008: 727–739.
- /11/ Hassanien, R.H. Advances in effects of sound waves on plants. *Journal of integrative Agriculture*, **13**, 2014: 335–348.
- /12/ Zweifel, R., Zeugin, F. Ultrasonic acoustic emissions in drought-stressed trees—more than signals from cavitation? *New Phytologist*, **179**, 2008: 1070–1079.
- /13/ <https://edition.cnn.com/2023/03/30/world/plants-make-sounds-science>
- /14/ O’Callaghan, M. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Applied microbiology and biotechnology*, **100**, 2016: 5729–5746.
- /15/ Paravar, A., Piri, R., Balouchi, H., Ma, Y. Microbial seed coating: An attractive tool for sustainable agriculture. *Biotechnology Reports*, **37**, 2023: e00781.
- /16/ Philippot, L., Raaijmakers, J.M., Lemanceau, P., van Der Putten, W.H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature reviews microbiology*, **11**, 2013: 789–799.
- /17/ Berg, G. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied microbiology and biotechnology*, **84**, 2009: 11–18.
- /18/ Zandalinas, S.I., Mittler, R. Plant responses to multifactorial stress combination. *New Phytologist*, **234**, 2022: 1161–1167.
- /19/ Mittler, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in plant science*, **11**, 2006: 15–19.
- /20/ Zsögön, A., Peres, L.E., Xiao, Y., Yan, J., Fernie, A.R. Enhancing crop diversity for food security in the face of climate uncertainty. *The Plant Journal*, **109**, 2022: 402–414.
- /21/ Rivero, R.M., Mittler, R., Blumwald, E., Zandalinas, S.I. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*, **109**, 2022: 373–389.
- /22/ Bláha, L. Importance of World Plant Reservations for The Preservation of Crop Germplasm (A Review). *Agronomy & Agricultural Science*, **2**, 2019: 1–10
- /23/ Quazi, S., Golani, T., Capuzzo, A.M. Germplasm conservation. *Endangered plants*, 2021:180.
- /24/ Priyanka, V., Kumar, R., Dhaliwal, I., Kaushik, P. Germplasm conservation: instrumental in agricultural biodiversity - a review. *Sustainability*, **13**, 2021: 6743.
- /25/ Salgotra, R.K., Chauhan, B.S. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, **14**, 2023: 174.

VLIV ABIOTICKÝCH RIZIK NA VÝVOJ FENOLOGICKÝCH FÁZÍ SMRKU ZTEPILÉHO (*PICEA ABIES*) V ČESKÉ REPUBLICE A NA SLOVENSKU

INFLUENCE OF ABIOTIC RISKS ON THE DEVELOPMENT OF PHENOLOGICAL PHASES OF NORWAY SPRUCE IN THE CZECH REPUBLIC AND SLOVAKIA

Lenka Hájková^{1,5}, Martin Možný^{1,3,5}, Zora Snopková², Daniel Bareš¹, Zdeněk Žalud^{4,5}

¹ Český hydrometeorologický ústav, OBA, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, lenka.hajkova@chmi.cz

² Slovenský hydrometeorologický ústav

³ Česká zemědělská univerzita v Praze

⁴ Mendelova univerzita v Brně

⁵ Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Summary

Norway spruce (*Picea abies*) is widely distributed almost throughout the entire territory of the Czech Republic and Slovakia, and selected phenological phases are monitored within the phenological network of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) and the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI). The study carried out a temporal and statistical evaluation of the selected phenological phases of Norway spruce for the period 1991–2025, in various altitude zones of the Czech Republic and Slovakia. Furthermore, the change in significant abiotic risks (frost and drought) in connection with the onset of selected phenological phases of spruce was evaluated. The Mann-Kendall test was used to analyze the trend.

The analysis showed that the onset of the phenological phases of Norway spruce were very variable in the period 1991–2025 in both countries. The results show that climate change affects the shift of the first May shoots and flowering of Norway spruce (*Picea abies*) in both countries. The largest shift was recorded at the lowland station in Nové Mesto nad Váhom, at flowering by -20.6 days ($p < 0.001$). When evaluating the influence of abiotic factors (frost and drought) on the onset of selected phases, it was found that there is a decrease in the minimum air temperature in all altitude zones during the development of the first May shoots and during the flowering of male flowers of Norway spruce, thus increasing the risk of their damage by frost. The risk of increasing drought is present in almost all altitude zones, most notably at stations up to 300 m above sea level.

Key words: phenology, frost, drought, altitude zone

Souhrn

Smrk ztepilý (*Picea abies*) je hojně rozšířen téměř na celém území České republiky a Slovenska a vybrané fenologické fáze jsou sledovány v rámci fenologické sítě ČHMÚ (lesní rostliny) a SHMÚ (lesné rastliny). Ve studii bylo provedeno časové a statistické vyhodnocení vybraných fenologických fází smrku ztepilého za období 1991–2025, a to v různých výškových pásmech České republiky a Slovenska. Dále byla vyhodnocena změna výskytu významných abiotických rizik (mráz a sucho) v souvislosti s nástupem vybraných fenologických fází smrku. K analýze trendu byl použit Mann-Kendall test.

Analýza prokázala, že nástupy fenologických fází smrku ztepilého byly velmi variabilní v období 1991–2025 v obou zemích. Výsledky ukazují, že klimatická změna působí na posun prvních májových výhonků a kvetení smrku ztepilého (*Picea abies*) jak v České republice, tak i na Slovensku. Největší posun byl zaznamenán na nížinné stanici v Novom Meste nad Váhom, u kvetení o -20,6 dne ($p < 0,001$). Při vyhodnocení vlivu abiotických faktorů (mráz a sucho) na nástup vybraných fází bylo zjištěno, že dochází k poklesu minimální teploty vzduchu ve všech výškových pásmech v době vývoje prvních májových výhonků a v době kvetení samčích květů, tedy se zvyšuje riziko jejich poškození mrazem. Riziko zvyšujícího se výskytu sucha hrozí téměř ve všech výškových pásmech, nejvíce na stanicích do 300 m n. m.

Klíčová slova: fenologie, trend, mráz, API30, výškové pásmo

ÚVOD

Fenologie je věda, která studuje časový průběh projevů životního cyklu rostlin a živočichů, a zjišťuje, jak jsou tyto projevy ovlivněny vnějším prostředím. V případě kvetoucích rostlin jde o projevy životního cyklu neboli fenofáze, které mimo jiné zahrnují rašení listů, první květ, poslední květ, první zralé plody a opadávání listů /1/. Fenologie, jako součást bioklimatologie, může být využita jako významný nástroj v mnoha oblastech lidské činnosti a také v rostlinné ekologii, v zemědělství a lesnictví /2/.

Fenologická stádia jsou ovlivněna délkou dne a mnoha klimatickými faktory, jako je teplota vzduchu, úhrn srážek a jejich časové a prostorové rozložení nebo vlhkost vzduchu a teplota půdy. /3/ uvedl, že nástup fenologických fází je podstatně ovlivněn teplotami vzduchu, protože jejich účinky mohou urychlit nebo zpomalit růst a vývoj rostlin. Globální oteplování a biologické reakce na toto oteplování se rychle kumuluje /4, 5/ a značná pozornost se upírá na lesy. Podle závěrů /5/ IPCC (2021) dochází ke změně teplotního a srážkového režimu v důsledku klimatických změn. Zpráva IPCC dále uvádí, že průměrná globální teplota vzduchu se v posledních desetiletích zvýšila a výskyt teplotních extrémů bude narůstat. A dále někteří autoři uvedli např. /6, 7, 8/, že lze očekávat zvýšení četnosti a intenzity sucha. V České republice se očekává, že teplota vzduchu s probíhající změnou klimatu výrazně vzroste a stejně tak se nadále bude měnit prostorové rozložení úhrnu srážek, např. očekává se vyšší četnost epizod sucha. Mění se i jiné meteorologické charakteristiky v souvislosti se změnou teploty a relativní vlhkosti vzduchu, např. počet dusných dní /9/.

V letech 1961–2023 se průměrná teplota vzduchu zvýšila přibližně o 2,4 °C /7/ a potenciální evapotranspirace v letech 1971–2018 o 143 mm /10/. O zvyšujícím se riziku poškození polních plodin a ovocných dřevin mrazem v rámci celé Evropy v posledním desetiletí popisuje ve své studii mnoho zahraničních autorů, např. Lamichhane (2021) /8/ analyzovali zemědělské sucho v České republice v historickém a současném kontextu, včetně očekávaného vývoje v 21. století. /11/ porovnávali citlivost kůry smrku ztepilého na mráz a stav mrazuvzdornosti jehličí se stavem živin na vybraných lokalitách v jižním Švédsku. V měnících se klimatických podmínkách se zvyšuje i riziko přírodních požárů /12/.

Lesy jsou proto, podobně jako jiné vegetační jednotky, ovlivněny nedostatkem vláhy, množstvím vody a jejím rozložením během roku, a to zejména během vegetačního období.

Přirozený výskyt smrku ztepilého (*Picea abies*) je v ČR v nadmořské výšce od 700 do 1400 m n. m. Na Slovensku se vyskytuje ve středních a vyšších polohách, dolní hranice

přirozeného výskytu je 500–600 m n. m., optimální je 800–1400 m n. m. a horní hranice výskytu je 1600–1700 m n. m.

Význam sledování vývoje smrku ztepilého roste, v ČR je součástí fenologického pozorování Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) v síti lesních rostlin a na Slovensku je součástí fenologického pozorování Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) v síti „lesných rastlín“. Probíhající klimatická změna ovlivňuje nástupy a dobu trvání jednotlivých fenologických fází a u různých druhů rostlin dochází k jejich posunům. Důsledkem je i změna rizika poškození porostů jarními mrazy a suchem.

V příspěvku jsme se zaměřili na časovou analýzu změny nástupu vybraných fenologických fází (první májové výhonky, počátek kvetení a plné kvetení) smrku ztepilého v České republice a na Slovensku, a to v různých nadmořských výškách za stejné období 35 let (1991–2025). Dále byl analyzován výskyt mrazu a sucha v době nástupu vybraných fenologických fází (či 5 až 10 dní před jejich nástupem) výše uvedených fenologických fází.

MATERIÁL A METODY

Pro analýzu byl zvolen smrk ztepilý (*Picea abies*) z čeledi *Pinaceae*. Fenologická a meteorologická data byla exportována z databází ČHMÚ a SHMÚ. Analýza trendu byla vyhodnocena pomocí Mann-Kendall testu /13/, statistické charakteristiky a grafické výstupy byly zpracovány pomocí MS Excel. Výčet použitých fenologických a meteorologických stanic je uveden v tabulce 1., geografické rozmístění stanic je na obr. 1. Analýza a zpracování dat bylo provedeno za období 1991–2025.



Obr. 1 Smrk ztepilý – habitus, první májové výhonky a butonizace samčích květů (fáze těsně před počátkem kvetení)

V rámci fenologických pozorování se podle metodiky ČHMÚ /1/ u smrku ztepilého sledující následující fenofáze: rašení, první listy (10, 50 a 100 %), plné olistění, butonizace (10 %), počátek kvetení (10, 50 a 100 %), konec kvetení (100 %) a zralost plodů. V rámci metodiky SHMÚ jsou u „smrku obyčejného“ sledovány tyto fáze: „prvé májové výhonky, jánské výhonky, začiatok kvitnutia, plné kvitnutie a prvé zrelé plody“ /14/.

Podle metodiky BBCH /15/ mají níže uvedené fenofáze shodné označení:

BBCH 10 = první listy 10 % (ČR) a prvé májové výhonky (Slovensko)

BBCH 60 = počátek kvetení 10 % (ČR) a začiatok kvitnutia (Slovensko)

BBCH 65 = počátek kvetení 100 % (ČR) a plné kvitnutie (Slovensko)

Popis fenofází:

BBCH 10: „ihličnany na konci konárov tvoria nové ihlice vo zväzku a sú svetlezelenej farby“

BBCH 60: samčí šištice jsou dorostlé a plně rozevřené – prašníky dozrávají, žlutnou a praskají, uvolňuje se pyl

BBCH 65: „všetky jedince v skupine majú vaščinu kvetov úplne rozvinutú“

Pro stanovení suchých period byla použita charakteristika API30. Jedná se o **index předchozích srážek**, v tomto případě za posledních 30 dní. Do výpočtu indexu vstupují denní úhrny srážek, které směrem do minulosti statisticky ztrácejí svou váhu. Hodnota pod 10 mm během letní sezóny většinou v reálu znamená suchou svrchní vrstvu půdy. API30 bylo počítáno podle následujícího vzorce:

$API30 = P1 * k^0 + P2 * k^1 + P3 * k^2 + \dots + P30 * k^{29}$ (k je regresní koeficient (obvykle v rozmezí 0,85 až 0,98), v tomto případě byl použit regresní koeficient 0,9).

Výskyt mrazu byl vyhodnocen podle denní minimální teploty vzduchu (TMI), která je na meteorologických stanicích měřena ve výšce 2 m nad zemí. Sumy efektivních teplot nad 5 °C (SET5) byly spočteny na základě průměrné denní teploty vzduchu (Tavg), od denní hodnoty byla odečtena hodnota 5 a kumulativní součty kladných odchylek byly počítány od 1. ledna ke dni nástupu fenologické fáze.

Vztah mezi nástupem fáze nebo dobou kvetení a rizikem mrazu či sucha byl určen pomocí Pearsonova korelačního koeficientu (r). **Pearsonův korelační koeficient** je statistická míra **lineární závislosti** mezi dvěma kvantitativními proměnnými. V každé zemi byla vybrána jedna stanice v nadmořské výšce do 300 m, 301–500 a nad 501 m n.m., výčet stanic (fenologických a meteorologických) je uveden v tabulce 1.

Tab.1. Geografické souřadnice fenologických a meteorologických stanic v ČR a na Slovensku (využité ve studii)

Stanice (druh)	Nadmořská výška (m)	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Stanice (druh)	Nadmořská výška (m)	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
Běleč nad Orlicí (fenologická)	241	50°12'	14°01'	Hradec Králové (meteorologická)	278	50°10'	15°50'
Chřibská (fenologická)	350	50°52'	14°29'	Varnsdorf (meteorologická)	367	50°54'	14°36'
Příkosice (fenologická)	550	49°40'	13°39'	Plzeň-Bolevec (meteorologická)	328	49°47'	13°23'
Nové Mesto nad Váhom (fenologická)	196	48°46'	17°50'	Nitra (meteorologická)	135	48°16'	18°08'
Ružomberok (fenologická)	495	49°05'	19°15'	Bánská Bystrica (meteorologická)	427	48°44'	19°06'
Bacúch (fenologická)	625	48°51'	19°48'	Ganovce (meteorologická)	703	49°02'	20°19'

VÝSLEDKY A DISKUSE

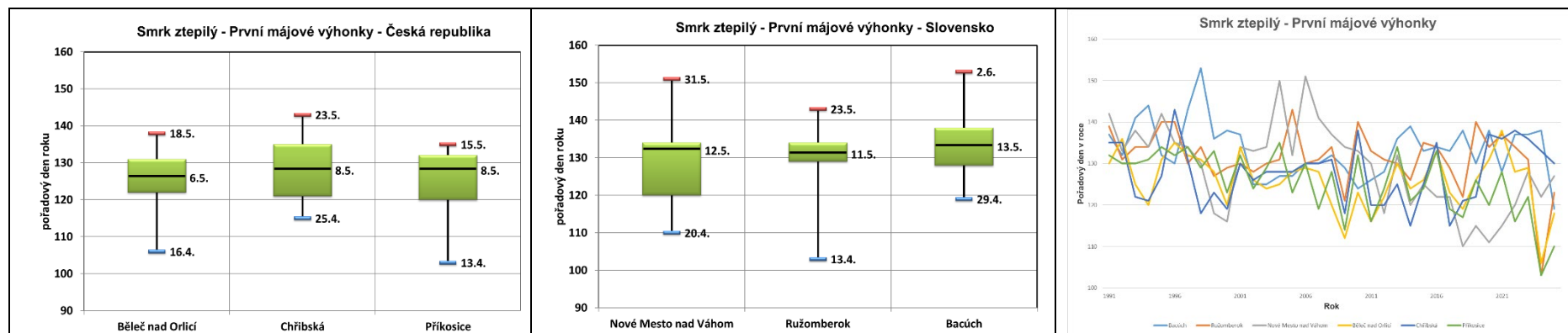
V tabulce 2 jsou uvedeny posuny a mediánové hodnoty vybraných fenologických fází smrku na stanicích v ČR a na Slovensku. Mediánové hodnoty BBCH 10 jsou v rozmezí 6. až

12. května (na českých stanicích dříve než na Slovensku), u BBCH 60 jsou v rozmezí 2. až 14. května a u BBCH 65 v rozmezí 11. až 21. května (na některých slovenských stanicích fáze nastává dříve). Na všech stanicích, kromě stanice Chřibská, se vybrané fenofáze posunuly do dřívějších datumů, Největší posun, statisticky významný ($p < 0,001$), byl zaznamenán na nížinné stanici v Novom Meste nad Váhom, u počátku kvetení (BBCH 60) téměř o tři týdny. Základní statistické charakteristiky vybraných fenofází včetně jejich časového průběhu jsou graficky znázorněny v grafech 1 až 3. Jak se za 25 let změnila suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C k časovému nástupu vybraných fenologických fází je uvedeno v tabulce 2. Ve dvou třetinách případů došlo k poklesu sum ale např. u prvních májových výhonků na většině stanic došlo k vzestupu sum efektivních teplot vzduchu. Změny v posunu fází u smrku ztepilého a vlivu klimatu na jeho fenologický vývoj byly zjištěny i v dalších studiích např. ve studii ve Slovinsku /16/. Jak se posouvají fenologické fáze u pylových alergenů (kam spadá i smrk ztepilý), tak se mění i pylová sezóna a je nezbytné automatizovat měření koncentrace pylů v ovzduší v rámci celé Evropy /17/.

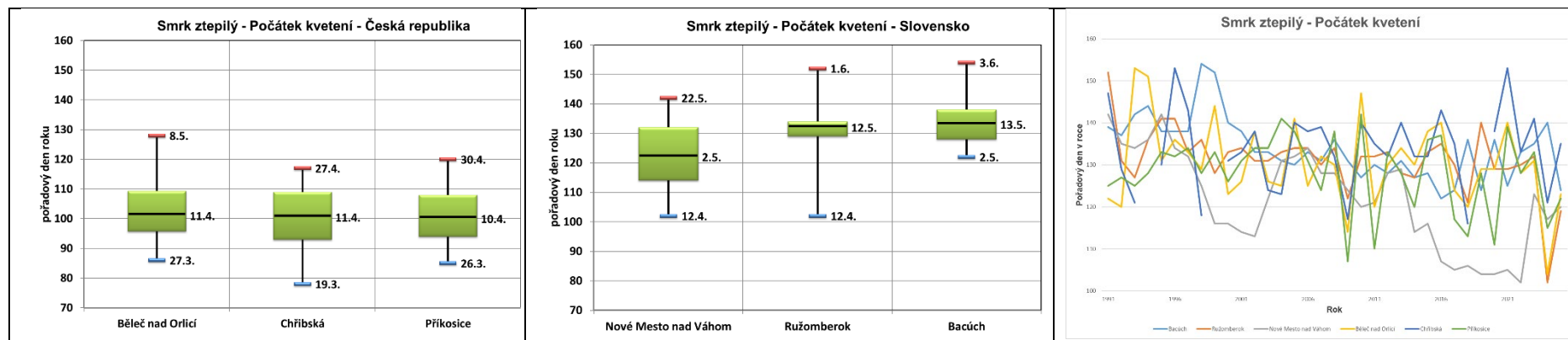
Tab. 2. Výsledky M-K testu změny nástupu fenologických fází BBCH 10, BBCH 60 a BBCH 65 smrku ztepilého a sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C (SET5) ke dni fáze na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025, seřazeno dle nadmořské výšky, u posunu fází uvedeno ve dnech, u SET5 uvedeno ve °C

Stanice	BBCH 10		SET5 ke dni nástupu BBCH 10		BBCH 60		SET5 ke dni nástupu BBCH 60		BBCH 65		SET5 ke dni nástupu BBCH 65	
	Posun/ období (dny)	Medián (datum)	Posun/období (°C)	Medián (°C)	Posun/období (dny)	Medián (datum)	Posun/období (°C)	Medián (°C)	Posun/období (dny)	Medián (datum)	Posun/období (°C)	Medián (°C)
Nové Mesto n. V. (196 m n. m.)	- 14,3***	12. květen	-69,3	377,0	-20,6***	2. květen	-86,1*	317,6	-14,7***	11. květen	-46,0	397,8
Běleč nad Orlicí (241 m n. m.)	-5,0	6. květen	27,8	265,5	-4,5	10. květen	3,6	302,3	-7,1	17. květen	-37,3	359,3
Chřibská (350 m n. m.)	+2,4	8. květen	11,3	212,5	+2,2	14. květen	9,9	255,5	0	21. květen	-4,2	308,8
Ružomberok (495 m n. m.)	-2,6	11. květen	5,8	274,0	-6,3**	12. květen	-25,5	273,0	-6,3**	16. květen	-27,7	304,1
Příkosice (550 m n. m.)	- 11,5***	8. květen	-45,5*	197,6	-2,2	8. květen	-3,3	209,2	-0,9	18. květen	-2,9	291,2
Bacúch (625 m n. m.)	-2,4	13. květen	23,7	183,9	-12,5***	13. květen	-33,5	193,2	-9,4***	13. květen	-44,6	226,3

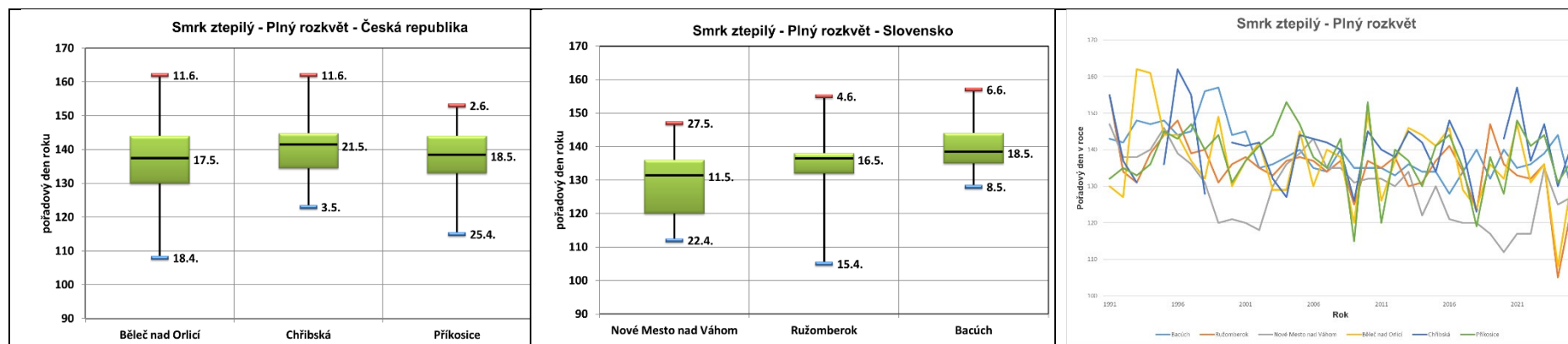
* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$



Graf 1: Box-plot statistických charakteristik a časový průběh fenologické fáze BBCH 10 (první májové výhonky) smrku ztepilého na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025.



Graf 2: Box-plot statistických charakteristik a časový průběh fenologické fáze BBCH 60 (počátek kvetení) smrku ztepilého na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025.



Graf 3: Box-plot statistických charakteristik a časový průběh fenologické fáze BBCH 65 (plný rozkvět) smrku ztepilého na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025.

V tabulce 3 jsou uvedeny výsledky změny délky kvetení, minimální teploty vzduchu a API30 v období kvetení. V ČR dochází v nadmořské výšce do 500 m ke zkracování doby kvetení, na Slovensku se naopak doba kvetení v nížině prodlužuje a zároveň se zvyšuje riziko zasažení mrazem, stejně jako na nížinné stanici v ČR. Na obou stanicích došlo k signifikantnímu posunu minimální teploty vzduchu v době kvetení o $-6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($p < 0,001$). Kromě stanice Chřibská se i na dalších stanicích minimální teplota snižuje. Na obou nížinných stanicích se rovněž snižuje hodnota API30, což představuje větší riziko zasažení suchem v době kvetení.

V tabulce 4 jsou uvedeny výsledky změny minimální teploty vzduchu a API30 v období 5 a 10 dní před růstem prvních májových výhonků (BBCH 10). Trend minimální teploty vzduchu před nástupem BBCH 10 se snižuje jak v ČR, tak na Slovensku, kromě stanice Ružomberok, kde je zaznamenána stagnace. Vyšší pokles je zřetelnější v období 10 dní růstem prvních májových výhonků. Obdobně je tomu u API30, kde je patrný pokles na většině stanic v období 10 dní před nástupem fáze, pouze stanice Ružomberok vykazuje nárůst API30 a na stanici Bacúch je opět stagnace. Výsledky nejsou statisticky významné. Obdobné výsledky týkající negativního vlivu mrazu na fenologický vývoj smrku dokládá práce /18/ a /19/.

Tab. 3. Výsledky M-K testu změny minimální teploty vzduchu ke dni nástupu fenologických fází BBCH 10, BBCH 60 a BBCH 65 smrku ztepilého na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025, seřazeno dle nadmořské výšky, uvedeno ve dnech a ve °C

Stanice	Délka kvetení (od BBCH 60 do BBCH 65)		TMImin v době kvetení		APImin v době kvetení	
	Posun/období (dny)	Medián (dny)	Posun/období (°C)	Medián (°C)	Posun/období (mm)	Medián (mm)
Nové Mesto n. V. (196 m n. m.)	6,7***	7	-6,3***	3,4	-4,9	6,4
Běleč n. O. (241 m n. m.)	-1,4	6	-6,3***	3,4	-0,9	10,5
Chřibská (350 m n. m.)	-1,8	6	1,7	2,7	-3,5	13,6
Ružomberok (495 m n. m.)	0	4	-2,1	5,5	1,1	12,8
Příkosice (550 m n. m.)	2,3	10	-0,9	-0,3	0,9	9,5
Bacúch (625 m n. m.)	0	5	-3,0	3,3	1,8	10,8

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tab. 4. Výsledky M-K testu změny minimální teploty vzduchu a indexu API30 v době 5 a 10 dní před nástupem fenofáze BBCH10

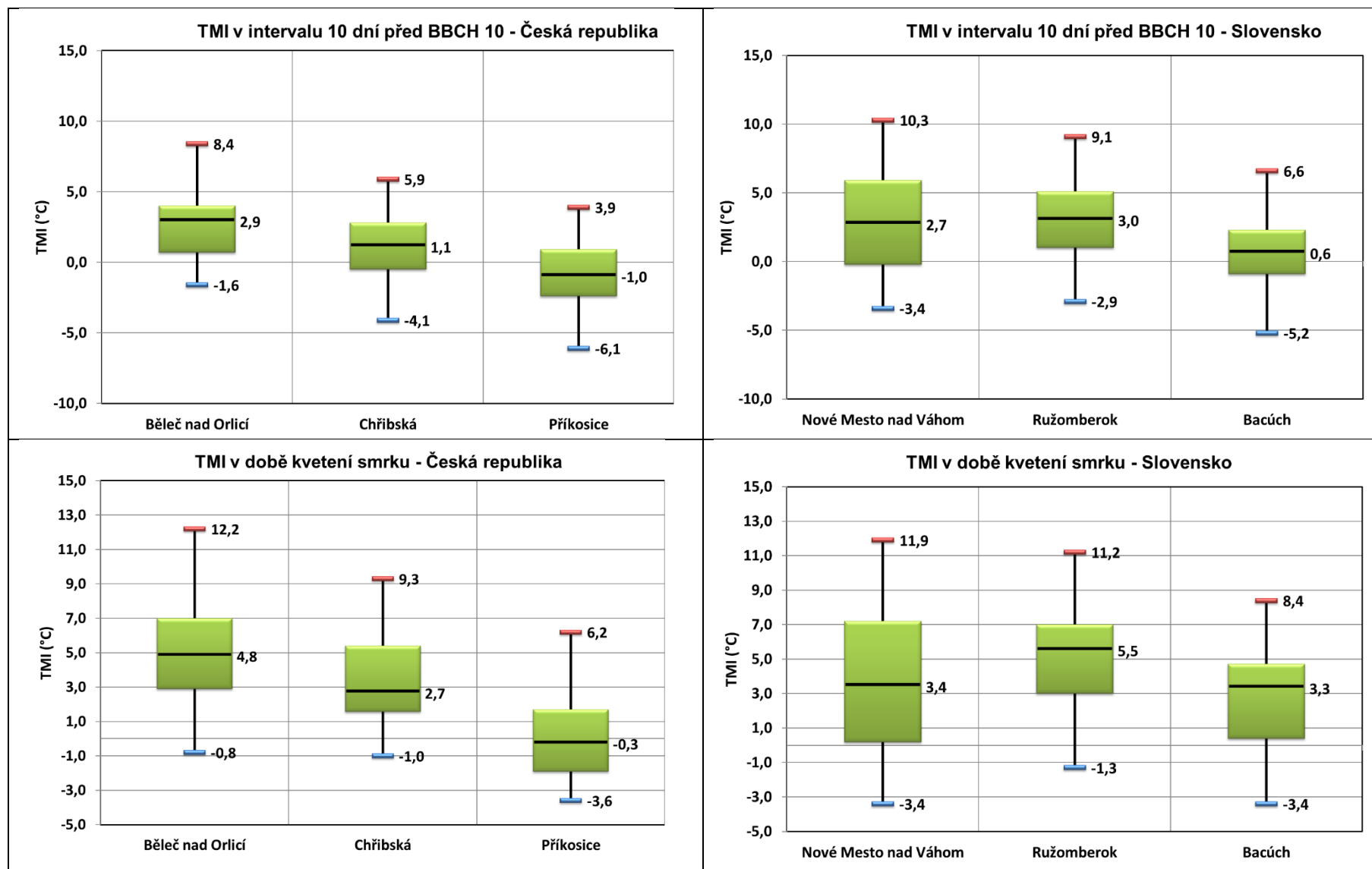
Stanice	TMImin 5 dní před BBCH 10		TMImin 10 dní před BBCH 10		APImin 5 dní před BBCH 10		APImin 10 dní před BBCH 10	
	Posun/období (°C)	Medián (°C)	Posun/období (°C)	Medián (°C)	Posun/období (mm)	Medián (mm)	Posun/období (mm)	Medián (mm)
Nové Mesto n. V. (196 m n. m.)	-4,0	5,5	-4,2	2,7	-3,5	9,7	-4,0	6,7
Běleč n. O. (241 m n. m.)	-2,0	4,7	-1,5	2,9	1,2	9,7	-2,1	8,4
Chřibská (350 m n. m.)	-0,7	3,5	-1,1	1,1	-2,2	13,7	-2,8	12,3
Ružomberok (495 m n. m.)	0,0	4,6	0,0	3,0	1,4	13,0	1,7	11,2
Příkosice (550 m n. m.)	-1,5	0,4	-2,0	-1,0	-0,6	11,7	-1,6	6,5
Bacúch (625 m n. m.)	-1,9	1,4	-1,0	0,6	0,6	9,5	0	8,9

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

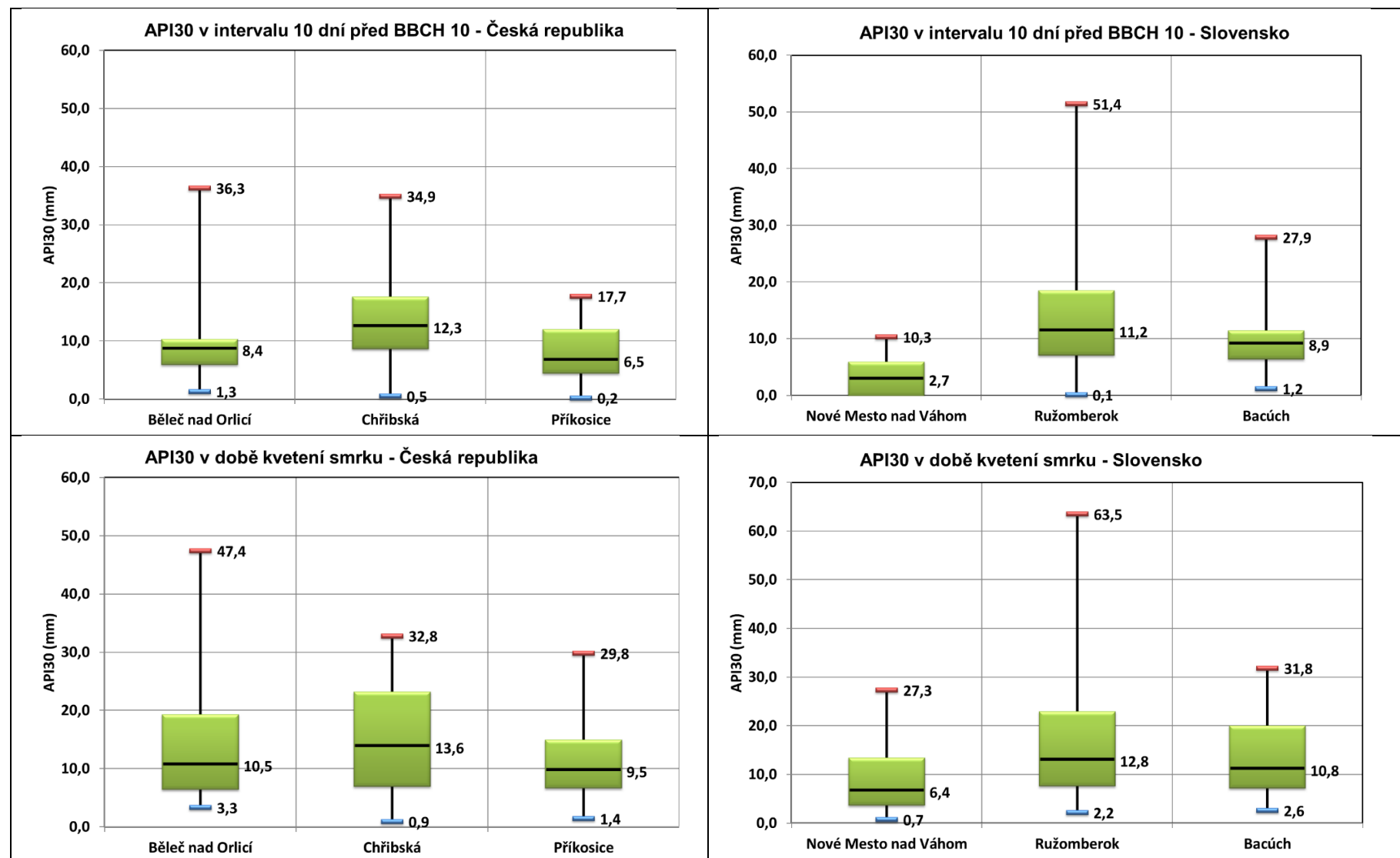
V tabulce 5 je uvedena Pearsonova korelace určující vazbu mezi proměnnými. Nejtěsnější vazba je mezi sumou efektivních teplot nad 5 °C (SET5) a dnem nástupu fáze, k počátku kvetení je vazba silnější. Nejvýznamnější vazba byla zjištěna na nížinné stanici na Slovensku (Nové Mesto nad Váhom). Další silná vazba byla zjištěna mezi minimální teplotou a dobou kvetení. Ve všech nadmořských výškách je záporná, tedy čím nižší je teplota vzduchu tím delší je interval kvetení, což představuje vyšší riziko pomrznutí. Podobné výsledky zjistili ve svých analýzách výzkumníci ve Švédsku /11/. U API30min (minimální hodnota ze všech hodnot) v době kvetení vychází záporná vazba na stanici Novom Meste nad Váhom a na stanici Chřibská tzn. čím nižší API30 (vyšší sucho) tím delší doba kvetení. U nástupu prvních májových výhonků (BBCH 10) je vazba mezi nástupem fáze a hodnotou minimální teploty či srážek na většině stanic kladná, což znamená čím vyšší minimální teplota vzduchu a API30 (nižší riziko sucha) tím pozdější je nástup fáze. Základní statistické charakteristiky u TMI a API30 v době fenologického vývoje smrku jsou uvedeny v grafu 4 a 5.

Tab. 5. Pearsonova korelace mezi vybranými charakteristikami (SET5 a BBCH 10 a BBCH 60; TMI v intervalu BBCH 10 minus 5 (10) dní; API30min v intervalu BBCH 10 minus 5 (10) dní; TMI (API30min) v intervalu BBCH 10 a BBCH 65) s vyznačením nejvyšších hodnot

Stanice / charakteristika	SET5 k BBCH10	SET5 k BBCH60	TMI v intervalu BBCH10 - 5 dní	API30min v intervalu BBCH10 - 5 dní	TMI v intervalu BBCH10 - 10 dní	API30min v intervalu BBCH10 - 10 dní	TMI v intervalu BBCH10-BBCH65	API30min v intervalu BBCH10-BBCH65
Nové Mesto n. V. (196 m n. m.)	0,774	0,799	0,306	0,263	0,475	0,262	-0,624	-0,400
Běleč n. O. (241 m n.m.)	0,137	0,667	0,152	0,395	0,097	0,456	-0,449	0,154
Chřibská (350 m n. m.)	0,371	0,454	0,164	0,154	0,217	0,179	-0,551	-0,279
Ružomberok (495 m n. m.)	0,263	0,346	-0,031	0,331	-0,110	0,293	-0,336	0,233
Příkosice (550 m n. m.)	0,442	0,682	0,094	0,268	0,344	0,272	-0,398	0,022
Bacúch (625 m n. m.)	0,664	0,656	0,346	0,117	0,265	0,141	-0,616	0,442



Graf 4: Box-plot statistických charakteristik TMI v intervalu 10 dní před nástupem BBCH 10 (první májové výhonky) a v době kvetení na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025.



Graf 5: Box-plot statistických charakteristik API30 v intervalu 10 dní před nástupem BBCH 10 (první májové onky) a v době kvetení na vybraných fenologických stanicích v ČR a na Slovensku za období 1991–2025

LITERATURA

- /1/ Hájková, L., Možný, M.: Fenologická pozorování I. ČHMÚ Praha, 2023, ISBN 978-80-7653-067-6, https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/Fenologie_I.pdf.
- /2/ Hájková, et al.: Atlas fenologických poměrů Česka. 1. vydání Praha-Olomouc. 2012, ISBN (ČHMÚ) 978-80-86690-98-8; ISBN (UP) 978-80-244-3005-8. 312 s.
- /3/ Larcher, W.: Physiological Plant Ecology. 2003, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 513 p.
- /4/ Parmesan, C.: Ecological and evolutionary responses to recent climate change. 2006, Annual Review of Ecology Evolution and Systematics 37:637–669.
- /5/ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. Printed October 2021 by the IPCC, Switzerland. Electronic copies of this Summary for Policymakers are available from the IPCC website www.ipcc.ch ISBN 978-92-9169-158-6.
- /6/ Salinger, S.: Increasing climate variability and change: Reducing the vulnerability. 2005, Clim. Change 2005, 70, 1–3.
- /7/ Žalud, Z. a kol.: Podnebí, počasí a zemědělství, vydala Agrární komora České republiky, 2025, 116 s. online: <https://www.intersucho.cz/cs/kniha-podnebi-pocasi-a-zemedelstvi>.
- /8/ Žalud, Z., Trnka, M., Hlavinka, P. (eds.): Zemědělské sucho v České republice – vývoj, dopady a adaptace. Agrární komora České republiky, 2019, ISBN 978-80-88351-02-3, 115 s.
- /9/ Szabóová, K.: Počet dusných dní na území Slovenska. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 123–138, ISBN 978-80-7653-063-8. <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.17>.
- /10/ Možný, M., Trnka, M., Vlach, V., Vizina, A., Potopova, V., Zahradnický, P., Štěpánek, P., Hájková, L., Štěpánek, L., Žalud, Z.: Past (1971–2018) and future (2021–2100) pan evaporation rates in the Czech Republic, Journal of Hydrology, Volume 590, 2020, 125390, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125390>.
- /11/ Jönsson, A., Kivimäenpää, M., Stjernquist, I. et al.: Frost hardiness in bark and needles of Norway spruce in southern Sweden. Trees 15, 171–176 (2001). <https://doi.org/10.1007/s004680100088>.
- /12/ Možný, M., Vlach, V., Musilová, A., Hájková, L.: Hodnocení rizika závažného požáru v Česku. Meteorologické zprávy 77, 2024, 186–191.
- /13/ Libiseller, C., Grimvall, A.: Performance of partial Mann Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. 2002, Environmetrics 13:71–84.
- /14/ Braslavská, O., Kamenský, L.: Fenologické pozorování lesních rostlin, Metodický předpis, Bratislava 1996, SHMÚ. 16 s.
- /15/ Meier, U. (ed): Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 1997, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- /16/ Jevšenak, J., Tychkov, I., Gričar, J. et al.: Growth-limiting factors and climate response variability in Norway spruce (*Picea abies* L.) along an elevation and precipitation gradients in Slovenia. Int J Biometeorol 65, 311–324 (2021) <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02033-5>.
- /17/ Tummon, F. et al.: The role of automatic pollen and fungal spore monitoring across major end-user domains. Aerobiologia, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10453-024-09820-2>.
- /18/ Lamichhane, J.R.: Rising risks of late-spring frosts in a changing climate. Nat. Clim. Chang. 11, 554–555 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01090-x>.
- /19/ Svystun, T., Lundströmer, J., Berlin, M., Westin, J., Jönsson, A.M.: Model analysis of temperature impact on the Norway spruce provenance specific bud burst and associated risk of frost damage, Forest Ecology and Management, Volume 493, 2021, 119252, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119252>.

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou Technologické Agentury ČR projekt č. SS02030040 (PERUN) a SS02030018 (DivLand). Tento výzkum byl rovněž podpořen programem Johannes Amos Comenius (P JAC), projekt č. CZ.02.01.01/00/22_008/0004605, Přírodní a antropogenní georizika.

PŮVODCOVIA SYPAVIEK V PORASTOCH BOROVÍC NA SLOVENSKU

NEEDLE CAST AGENTS IN PINE STADS IN SLOVAKIA

Emília Ondrušková¹, Zuzana Jánošíková¹, Marek Kobza¹, Katarína Pastirčáková¹, Radovan Ostrovský¹, Lucia Sporinová², Katarína Adamčíková¹

¹ Ústav ekológie lesa v.v.i., Slovenská akadémia vied, Oddelenie fytopatológie a mykológie, Akademická 2, 949 01 Nitra, Slovenská republika, ondruskova@ife.sk

² Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie mládeže 91, 949 74 Nitra, Slovenská republika

Summary

Needle casts are diseases of pine trees that lead to the loss of needles, which serve as assimilatory organs. Several ascomycetes act as causal agents of needle casts. Although these fungi have different ecological requirements and life cycles, their impact on host plants is similar. Needle casts can be caused by fungi from different genera, such as *Dothistroma*, *Lophodermium*, *Cyclaneusma*, and the quarantine organism *Lecanosticta acicola*. This paper provides comprehensive information about their life cycles, including both common and unique symptoms, as well as the conditions most suitable for their spread. It also summarizes the results of long-term observations of these species in Slovakia.

Key words: *Pinus* sp., needle casts, fungal diseases, Ascomycetes, *Cyclaneusma* sp., *Dothistroma* sp. *Lecanosticta acicola*, *Lophodermium* sp.

Súhrn

Pojem sypavky zahŕňa ochorenia borovíc, ktoré majú za následok stratu ihlíc ako asimilačných orgánov. Pôvodcami sypaviek sú viaceré askomycéty, ktoré napriek rozdielnym ekologickým nárokom a typickej bionómii majú podobné dopady na hostiteľské rastliny. Patria k nim huby z rodov *Dothistroma*, *Lophodermium*, *Cyclaneusma*, ale aj karanténny organizmus *Lecanosticta acicola*. Príspevok prináša súhrnné informácie nielen o ich životných cykloch, spoločných, ale i rozdielnych symptómoch, o podmienkach, ktoré sú najvhodnejšie pre ich rozširovanie, ale aj súhrny výsledkov dlhoročných pozorovaní týchto druhov na Slovensku.

Kľúčová slova: borovice, sypavky, hubové ochorenia, Ascomycetes, *Cyclaneusma* sp., *Dothistroma* sp. *Lecanosticta acicola*, *Lophodermium* sp.

ÚVOD

Borovice (rod *Pinus*) patria medzi najrozšírenejšie ihličnany v miernom a subalpínskom pásme Európy a zohrávajú dôležitú úlohu v ekologickej stabilite aj lesnom hospodárstve /47/. Na Slovensku je to druhá najčastejšie zastúpená ihličnatá drevina a podľa správy hospodárenia z roku 2023 borovice tvoria 6,4% z celkovej výmery lesných pozemkov 2 028 172 ha /56/. Borovice sú vždyzelené stromy, alebo kry s praslenovitým vetvením. Rod *Pinus* je najpočetnejším rodom nahosemenných rastlín, pričom na severnej pologuli je popísané 100-120 druhov borovíc rastúcich od hladiny mora až po 4000- 4300 m n.m. (Mexiko, Čína), od trópov až po subarktickú oblasť /37/.

Široká ekologická amplitúda borovice lesnej umožňuje predpokladať zvyšujúci trend jej pestovania v jednotlivých lesných vegetačných stupňoch /45/, ale súčasne po zohľadnení nastupujúceho trendu suchých ročníkov je potrebné zvážiť nový prístup v oblasti obhospodarovania borovicových porastov v lokalitách Slovenska /29/. V posledných desaťročiach dôsledky klimatickej zmeny výrazne ovplyvňujú zdravotný stav borovíc. Zvýšené a extrémne teploty, častejšie obdobia sucha a zmeny v zrážkovom režime oslabujú prirodzenú odolnosť borovíc voči patogénom a škodcom /12, 29, 50/. Tieto meniace sa klimatické podmienky ovplyvňujú vzorce teploty a zrážok v mnohých regiónoch sveta, čo často vedie k teplejším a vlhším podmienkam ako je bežné /55/, umožňujú rýchlejšie šírenie pôvodných patogénov, ale zároveň vytvárajú priaznivé prostredie pre invázne druhy, ktoré v minulosti nepredstavovali hrozbu v našich geografických šírkach /52/. Choroby ako napríklad Červená sypavka borovíc (*Dothistroma needle blight*), alebo *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & B. Sutton (sivá škvrnitosť borovice) sa stávajú čoraz rozšírenejšími, a to najmä v dôsledku oslabenia stromov klimatickým stresom /8/. *S. sapinea* sa bežne vyskytuje na výhonkoch a šiškách ako asymptomatická infekcia, ale stres zo sucha predisponuje stromy k rozvoju choroby. Potvrdzujú to aj štúdie s infekciami hubou *S. sapinea*, pričom najzávažnejšie príznaky ochorenia v regenerujúcich sa sadeniciach sa zistili v najteplejších porastoch. Teplota tiež zvýšila mieru prežitia patogénov v sadeniciach, čo podporovalo závažnosť choroby /10/.

Červená prúžkovaná sypavka (*Dothistroma needle blight*, DNB) spôsobená druhmi rodu *Dothistroma*

Červená prúžkovaná sypavka je závažné ochorenie ihličia borovíc. Ochorenie patrí k najškodlivejším predovšetkým na južnej pologuli, kde spôsobuje výrazné produkčné straty drevnej hmoty, ale šíri sa aj na severnej pologuli a výrazne v Európe. Je známe, že toto ochorenie spôsobujú dva druhy huby: *Dothistroma septosporum* (Dorogin) M. Morelet a *Dothistroma pini* Hulbary. Oba druhy sú medzi sebou ťažko rozoznatel'né, majú podobnú ekológiu, ako aj symptomatické prejavy. Morfologicky a molekulárne boli determinované relatívne nedávno pomocou druhovo špecifických primerov /5/.

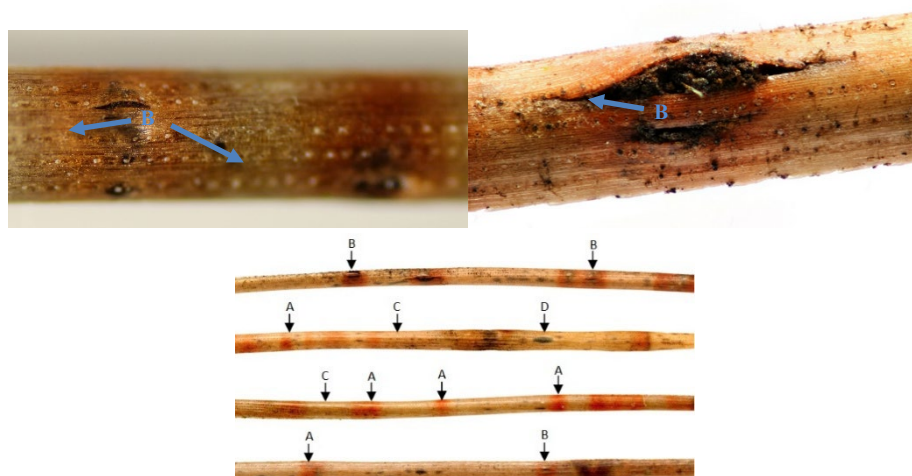
Ochorenie významne negatívne ovplyvňuje dĺžku výhonkov, čo znižuje fotosyntetickú kapacitu stromu, dochádza k predčasnej defoliácii a nekróze ihlíc, čo má priamy vplyv na redukciiu objemového rastu stromov. Zvýšený záujem o dané ochorenie v posledných desaťročiach poukázal na to, že toto ochorenie napáda široké spektrum borovíc. Zatiaľ čo v roku 2009 /53/ bolo zaznamenaných 89 hostiteľov pre DNB, v podrobnej štúdii, ktorú podporil spoločný medzinárodný projekt DIAROD vzrástol na 109 /14/ a následne pre druhy *Dothistroma* bolo potvrdených už 113 hostiteľských taxónov, z ktorých takmer sto patrí do rodu *Pinus* /6/.

Prvotné príznaky na ihličí borovíc je tvorba drobných belavých alebo žltých škvŕn. Takéto príznaky sú pri všetkých sypavkách veľmi podobné, a preto je veľmi obtiažne už pri prvých príznakoch určiť, o aké sypavkové ochorenie borovíc sa jedná. Pri druhoch *Dothistroma* sp. sa škvŕny postupne rozširujú do ostro ohraničeného nekrotického pásu, ktorý obopne ihličie a následne začne distálna časť ihlice. Choré ihličie je teda typické tým, že báza ihlice zostáva zelená v strednej časti sa nachádzajú lézie, prípadne nekrózy a vrchná časť ihlíc je nekrotická (Obr. 1C). Huby z rodu *Dothistroma* produkujú v pletivách ihlíc toxín dothistromín, ktorý má

za následok vytvorenie výrazného červeného pruhu taktiež obopínajúceho celú ihlicu (Obr. 1A). V tejto fáze je červený pruh veľmi významným symptómom, ktorý poukazuje na ochorenie DNB. Tvorba červených pruhov však nie je prítomná vždy, naopak často je závislá od druhu hostiteľa alebo miesta, pričom svetlo zvyčajne zhoršuje červené príznaky spôsobené toxínom a tiež ich potláča.

V strede červených prúžkov, alebo v nekrotických častiach ihlice sa pod epidermou vyvíjajú čierne plodnice, stromáty, viditeľné ako okrúhle čierne škvrny (obr. 1B). Neskôr, eliptické konidiomy, usporiadané v radoch rovnobežne s pozdĺžnou osou ihličia, prerazia otvor epidermy (Obr. 1B, detaily) jedným, alebo dvoma pozdĺžnymi zárezmi a vytvoria lalok epidermálneho a hypodermálneho tkaniva. Niekedy sú konidiomy koncentrované v červených pruhoch (Obr. 1A). Konídie sú bezfarebné, tenkostenné a hladké. Silne napadnuté ihličie úplne zhnedne a predčasne opadáva, pričom opadávajú najprv staršie ročníky. Pri menej závažných napadnutiach môže opadávanie ihličia trvať 1 alebo 2 roky. Výrazne napadnuté borovice majú zvyčajne holé vetvičky, na ktorých ostávajú len ihlice aktuálneho ročníka, čím sa tvoria tzv. levie chvosty. Opakované výrazné prepuknutia choroby v niekoľkých rokoch môžu viesť až k úhynu celých stromov alebo aj porastov borovic.

Druh *D. septosporum* je rozšírený po celom svete a podobnú tendenciu potvrdzujú aj výsledky analýz zo Slovenska, keďže výskyt sa potvrdil naprieč celým Slovenskom. Výskyt tohto druhu je až šesťnásobne vyšší, ako v prípade druhu *D. pini*, ktorý má obmedzenejšie geografické rozšírenie a objavuje sa len na severnej pologuli [15, 46].



Obázok 1 A-D. Symptómy ochorenia Červená sypavka borovic-DNB na ihliciach *Pinus nigra* spôsobené hubou rodu *Dothistroma*: A – typický červený prúžok obopínajúci ihlicu (prítomnosť *dothistromínu*), B – hnedé plodničky, alebo praskajúce konidiomata, ktoré roztrhnú epidermis infikovanej borovicovej ihlice, C – nekrotické pletivo, D – *Lophodermium* sp.

Na Slovensku boli porasty borovic intenzívne študované v mnohých aspektoch, ako je morfológia, druhové a hostiteľské spektrum, pohlavné typy, populačná analýza a geografické rozšírenie od roku 2013 až po súčasnosť. V priebehu viac ako 10 rokov boli preskúvané lokality naprieč celým územím Slovenska. Amplifikáciou DNA pomocou druhovo špecifických primerov a prostredníctvom konvenčnej PCR, sekvenačnou analýzou ITS-rDNA,

β tubulin a elongačního faktoru 1-α ako aj ITS RFLP metódou boli na Slovensku potvrdené oba druhy *D. septosporum* aj *D. pini*, niekedy spoločne na rovnakých lokalitách /3, 22, 39, 40/.

Populačná analýza naznačuje, že v prípade druhu *D. septosporum* boli zastúpené oba párovacie typy s rovnomernou distribúciou, čo poukazuje na možnosť prítomnosti pohlavného rozmnožovania huby a jej vysokej diverzity. Tieto predpoklady potvrdzuje aj analýza genetickej štruktúry populácií druhu *D. septosporum*, nakoľko sa zistilo, že na Slovensku je tento druh vysoko diverzifikovaný, má značný počet haplotypov a nízku klonalitu. S najväčšou pravdepodobnosťou je teda prítomnosť *D. septosporum* na území Slovenska dlhodobá s prítomným pohlavným aj nepohlavným spôsobom rozmnožovania. Tento patogén sa u nás šíri tak prirodzene, ako aj umelo pomocou antropogénnej činnosti /23/.

Pre hubu *D. pini* boli analýzami potvrdené oba párovacie typy aj keď v prevažnej miere bol prítomný párovací typ MAT 1-1-2 /3, 39, 40/. Populácia *D. pini* je charakteristická klonálnym prenosom, a teda nepohlavným spôsobom rozmnožovania, pričom genetická informácia zostáva totožná s rodičovskou, čo nezvyšuje ani genetickú diverzitu tohto druhu na Slovensku /1/. Napriek tomu sme zistili, že na Slovensku je výskyt *D. pini* početnejší ako naznačovali pôvodné výsledky /3/.

Výsledky štúdií prebiehajúcich na Slovensku najskôr potvrdili výskyt ochorenia na 11 taxónoch /22/ a neskôr až na 13 hostiteľoch, medzi ktorými boli nielen hostiteľské druhy rodu *Pinus*, ale aj rodu *Picea*. Rozsah hostiteľských druhov na Slovensku bol porovnateľný pri oboch hubových patogénoch z rodu *Dothistroma* /3/.

Mikroskopické morfologické charakteristiky týchto dvoch húb sú veľmi podobné. Preto sme zhodnotili morfológiu viac ako 350 získaných z odberov na Slovensku. Výsledky potvrdili, že morfológia kultúr je značne variabilná bez spojitosti k niektorému z týchto dvoch druhov, ale boli zaznamenané významné interakcie a rozdiely na základe pigmentácie kultúr /2/).

Keďže na Slovensku sú nezmiešané plochy s výskytom len jedného druhu rodu *Dothistroma*, bolo možné uskutočniť pokus zameraný na štúdium a porovnanie virulencie oboch hubových patogénov rodu *Dothistroma*. Semenáče dvoch vysoko náchylných hostiteľských druhov (*P. nigra* a *P. mugo*) boli pomocou prirodzených infekčných experimentov podrobené testovaniu virulencie jednotlivých patogénov. Výsledky poukázali na to, že virulencia oboch druhov je ovplyvnená druhom hostiteľa. Zistili sme rozdiely v citlivosti jednotlivých druhov borovic k patogénom *D. septosporum* a *D. pini*. Taktiež ďalšie faktory ako klimatické a environmentálne faktory, ako aj proveniencia patogéna sa javia ako dôležité /24/.

Zaujímavé informácie priniesla aj štúdia zameraná na patogenézu, kde sa zistilo, že v počiatočných fázach môže mať vplyv aj proveniencia patogénnej huby, ale v priebehu vývoja symptómov sa procesy u húb z rôznych proveniencií zjednocujú a degradácia ihlíc pokračuje podobným spôsobom /24/.

Borovicová sypavka spôsobená hubami rodu *Lophodermium*

Lophodermium je rod húb, ktorý veľmi významne infikuje zástupcov čeľade Pinaceae. Na boroviciach sú veľmi rozšírené, či už ako endofyty alebo sapróby, sú však medzi nimi aj patogény. V literatúre sa uvádza, že borovce v Európe osídľuje sedem druhov *Lophodermium* sp. /36/. Na ihliciach borovic sa veľmi hojne vyskytuje *Lophodermium pinastri* (Schr.) Chevall., ktorý pravdepodobne patrí k endofytom. Výskum sa však zameriava na druh *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley et Millar, nakoľko je dôležitým patogénom borovic.

Jeho vplyvom mladé sadenice v lesných škôlkach, alebo na vianočných plantážach strácajú ihličie a chradnú /44/. Niekoľko po sebe nasledujúcich atakov môže spôsobiť vysychanie dospelých stromov, ale i zníženie ekonomickej a okrasnej hodnoty drevín.

V podmienkach strednej Európy začnú byť v priebehu septembra zreteľné drobné žlté škvrny na ihliciach, ktoré sú počiatočnými príznakmi ochorenia spôsobeného druhom *L. seditiosum* a sú zjavným príznakom infekcie až do začiatku zimy. Následne môžu byť viditeľné nielen jemne žlté až červenohnedé alebo sivasté škvrny, ale aj pásy a škvrnitosť na inak zelených pletivách /4, 21/. Ak je priemerná denná teplota nad 12 °C a relatívna vlhkosť nad 60 %, vytvárajú sa ideálne podmienky pre huby z rodu *Lophodermium* /44/. Zjavným príznakom ochorenia je náhle hromadné hnednutie ihličia nastupujúce v jarňých mesiacoch. Infekcie spôsobujú masívne odumieranie ihličia, ktoré však ostáva na vetvách až do neskorých jarňých mesiacov mája/júna a potom náhle opadáva /4, 21, 46/. V priebehu sezóny (apríl až október) je zrejmy výrazný symptóm ochorenia, tvorba drobných čiernych pykníd na odumretom ihličí. Pyknídy majú tvar lodičiek, vyčnievajú nad povrch pokožky ihlice a zostávajú viditeľné mnoho mesiacov (Obrázok 2). Počas vlhkého počasia sa z nich uvoľňujú spóry a infikujú nové ihličie. Zistilo sa, že pri silnom napadnutí je *L. seditiosum* schopná usmrtiť ihličie päť mesiacov po inokulácii patogénom /13/.



Obrázok 2. Plodnica huby *Lophodermium seditiosum* vytvorená na ihlici *Pinus nigra* zozbieraná z Dudiniec, zväčšenie 100x, foto: E. Ondrušková.

Patogénom *L. seditiosum* je napádaných mnoho druhov borovíc v severnej Amerike i Európe, avšak na druh *P. sylvestris* je zameraná osobitná pozornosť vzhľadom na to, že je to na širokom území pôvodný druh borovice s výrazným využitím v lesnom a drevárskom priemysle /16, 28, 30, 35, 46, 49/.

Na Slovensku prebehol podrobný výskum, v ktorom boli zozbierané symptomatické ihlice v priebehu rokov 2013–2020, ktorý zahŕňal viac ako 70 lokalít naprieč celým územím /41/. Získali sme viac ako 200 vzoriek napadnutého ihličia, s pozitívnymi typickými symptómami ochorenia. Vzorky boli podrobené molekulárnemu testovaniu na prítomnosť druhov *Lophodermium*, použitím klasickej PCR a druhovo špecifických primerov, alebo sekvenačného procesu, ktorému boli podrobené čisté hubové kultúry získané so symptomatických ihlíc. Zistili sme, že na Slovensku je prítomný nielen druh *L. pinastri*, ale aj patogénny druh *L. seditiosum*. Viac ako 55 % všetkých odobratých borovíc vykazovala prítomnosť *L. pinastri*, pričom vzorky pochádzali z 2/3 všetkých lokalít. Významným bol však výskyt patogénneho druhu na takmer 30% všetkých vzoriek borovíc na takmer 1/2 lokalít. Obidva druhy často koexistovali na rovnakom hostiteľovi, avšak zaznamenali sme aj samotné výskyt jednotlivých druhov.

Zistili sme, že obe huby sa s takmer rovnakým zastúpením vyskytujú v lesnom aj mestskom prostredí. V oboch prostrediach bol výskyt druhu *L. pinastri* viac ako v 60% vzoriek z lesných aj mestských porastov. Výskyt druhu *L. seditiosum* bol zistený vo viac ako 35% s miernou prevahou vzoriek z mestských porastov.

L. pinastri aj *L. seditiosum* boli detegované na širokom spektre hostiteľských stromov. *L. pinastri* bol detegovaný na 15 taxónoch borovíc, zatiaľ čo *L. seditiosum* na 13 hostiteľoch. Pre obidve huby však bolo typické, že najčastejšie boli zaznamenané na troch hostiteľoch vzostupne *P. nigra*, *P. sylvestris* a *P. mugo*. Osem hostiteľských druhov *P. aristata*, *P. densiflora*, *P. holdreichii*, *P. parviflora*, *P. rigida*, *P. strobus*, *P. uncinata* a *P. wallichiana* bolo pre Slovensko nových /41/.

Sekvenačné analýzy odhalili výskyt oboch druhov *L. pinastri* ako aj *L. seditiosum*. Navyše však z lokality vo Vysokých Tatrách bol na hostiteľovi *P. mugo* zaznamenaný aj nedávno popísaný druh *L. corconticum* Koukol, Pusz et Minter nachádzajúci sa vo vysokohorskom prostredí Poľska /26/.

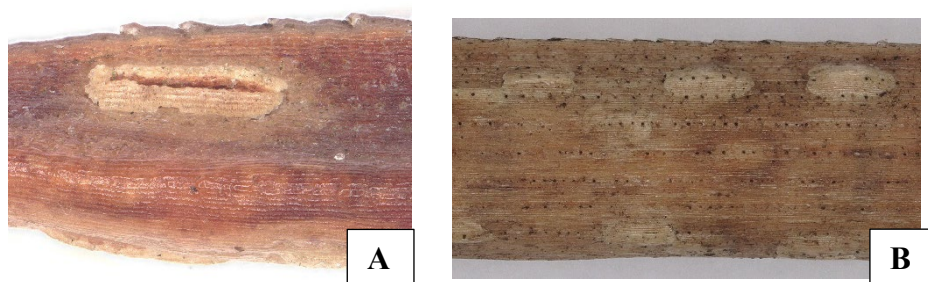
Mramorová sypavka borovíc (Cyclaneusma needle cast, CNC) spôsobená druhmi rodu *Cyclaneusma*

Mramorová sypavka borovíc je ochorenie ihlíc, ktoré spôsobuje zníženie vitality a rastu borovíc. Spôsobujú ho askomycétne huby *C. niveum* (Pers.) DiCosmo, Peredo & Minter a huba *Cyclaneusma minus* (Butin) Di Cosmo, Peredo et Minter.

K výrazným symptómom infekcie spôsobenej *C. minus* na boroviciach patrí náhle a predovšetkým predčasné zožltnutie ihlíc 2. až 3. ročníka, na ktorých sa neskôr objaví hnedé mramorovanie. Výnimočne sa na zelených ihliciach v období od apríla do júla tvoria v prvej fáze žltohnedé pruhy, široké 1-3 cm. V tejto fáze pretrvávajú niekoľko mesiacov a až potom dochádza k mramorovému zožltnutiu. Po odumretí pletív, vzácné ešte vo fáze mramorovania, sa na ihliciach tvoria plodnice špeciálne v miestach hnedých škvrn.

Symptómy infekcie sú však značne rozdielne u rôznych druhov drevín, tak aj v odlišnej dobe infekcie. Najčastejšie infekciu sprevádza senescencia (starnutie) ihlíc ako prirodzený prejav odumierajúcich pletív. Predčasné masové žltnutie ihlíc koncom júla až augusta a mramorové sfarbenie ihlíc však už možno považovať za príznak tejto huby /33/. V prípade infekcie ihlíc *P. sylvestris* sypavkou *Cyclaneusma minus* bolo pozorované mramorové žltnutie ihlíc už od konca apríla. Infekcia bola spojená s významným poškodením napadnutých borovíc /21/. Napadnutie môže prebiehať v priebehu celého roka ak sú teploty vyššie ako 0 °C a sú vhodné vlhkostné podmienky /38/. Plodnice sa tvoria hojne na odumretých ihliciach, vzácnejšie aj na žltúcich ihliciach cca po 1-3 mesiacoch inkubačnej doby priamo pod prieduchmi. Plodnice – apotéciá sú hygroskopické bezfarebné štrbinovité a elipsovité, veľké 0,2 × 0,3 - 0,7 mm (pri druhu *C. niveus* 0,4 - 1 mm), ktoré sa tvoria od septembra až do zimy na odumretých ihliciach (Obr. 3). Plodnice sa otvárajú za vlhkého počasia a uvoľňujú hyalínne (bezfarebné) askospóry, veľké 70-90 × 2,5-3,0 μm, s jednou až dvoma priehradkami. Spóry je možné nájsť po celý rok vďaka prieduchom otvoreným pri správnych podmienkach prostredia. Spóry je možné nájsť v rôzne starých plodniciach prakticky po celý rok. Infekcie sa vyskytujú najmä v apríli a závažnosť ochorenia sa v priebehu infekcie mení podľa ročného obdobia. Nedávne pozorovania dokazujú, že masívnejšie infekcie na vetvičkách sa vyskytujú častejšie na

stromoch stojacich vedľa seba ako u jednotlivu stojacich stromov. Tiež bolo preukázané, že *C. minus* je patogén pre staršie rastliny, ale ich semená zostávajú odolné /21/.



Obrázok 3 A-Plodnice huby *Cyclaneusma minus verum* na ihliciach *P. nigra* A- zozbierané v Tatranskej Lomnici, zväčšenie 150x a B zozbierané v Lučenci, zväčšenie 40x, foto E. Ondrušková

Na vzniku CNC, takzvanej mramorovej sypavky borovic sa podieľajú dva druhy z rodu *Cyclaneusma* a to *C. minus* a *C. niveum*. Ich výskyt bol popísaný na základe symptomatológie na ihliciach *P. nigra* a *P. sylvestris* v mestskej zeleni a sporadicky a nerovnomerne vyskytujúci sa aj v borovicových lesoch na Slovensku /20/.

Posledné analýzy /42/ potvrdili ich výskyt aj na základe DNA pomocou molekulárnych metód detekciou plodníc z ihlíc ako aj čistých kultúr. Výskyt huby *C. minus* bol abundantný predovšetkým v mestskej zeleni a arborétach a to až pri 84 % vzoriek. Ešte vyššie percento dosiahol výskyt tohto druhu v lesných porastoch až 94 %. Celkovo môžeme zhodnotiť, že vo všetkých typoch výsadiel na Slovensku je výskyt tejto sypavky hojný.

V populáciách kultúr druhu *C. minus* boli zaznamenané variácie v morfológických znakoch tak v Európe ako aj na Novom Zélande. Rozdiely vo farbe mycélia, textúre kolónií, pigmentácii, sporulácii a raste *in vitro* sa použili na rozdelenie tohto druhu na dva rôzne morfotypy. Tieto morfológické typy boli označené ako *C. minus* 'simile' a *C. minus* 'verum' /7, 9, 25/. Nedávny výskum využívajúci molekulárne metódy na základe fylogenetickej analýzy viacerých génových oblastí ukázal, že tieto dva morfotypy sú pravdepodobne samostatnými druhmi /18/. Posledné analýzy však odhalili aj výskyt ďalšieho morfotypu *C. minus* 'novus' /51/.

Hunter et al. (2016) /18/ vytvorila molekulárnu metódu pre diagnostiku a charakterizáciu *C. minus* pomocou špecifických primerov, použitím konvenčnej PCR priamo z napadnutých ihlíc, alebo kultúr. Pomocou týchto techník sme zistili, že na Slovensku je výskyt *C. minus* 'simile' je raritný, nakoľko bola zistená len v štyroch vzorkách z troch lokalít v mestskom prostredí a lesnej plantáži na druhu, *P. nigra*. Napriek tomu, že detekcii *C. minus* 'simile' bolo podrobených takmer 250 vzoriek, tento morfotyp nebol detegovaný na žiadnom inom hostiteľovi.

Naopak, druhý morfotyp *C. minus* 'verum' bol zaznamenaný vo viac ako 82 %. Navyše vzorky pochádzali zo širokého spektra hostiteľov. Všetky vzorky zberané v borovicových porastoch s prirodzenou regeneráciou boli pozitívne na prítomnosť *C. minus* 'verum'. V mestských podmienkach bol podiel pozitívnych výsledkov tiež vysoký, 83 %. Podobne pri iných typoch výsadby bolo toto percento vysoké, 77 % pre vzorky lesných plantáží a 71 % pre arboréta. Prítomnosť morfotypu bola zaznamenaná u 9 z 11 hostiteľov. Najhojnejšia

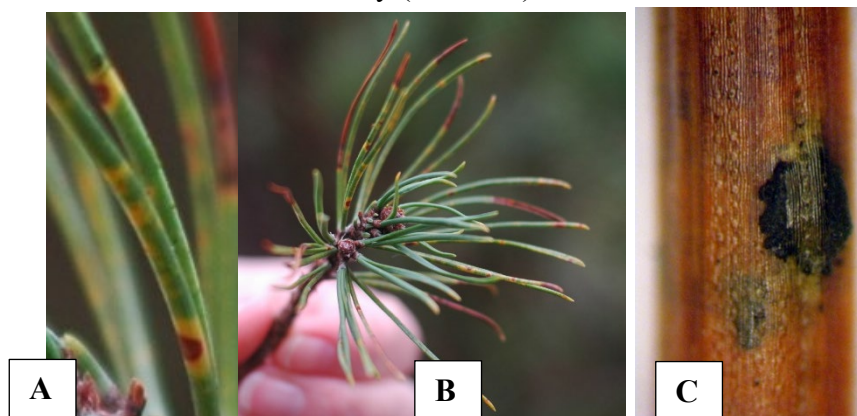
bola u *P. nigra*, nasledovala *P. sylvestris* a *P. mugo*. Jedna alebo dve pozitívne vzorky boli nájdené u *P. coulteri*, *P. densiflora*, *P. jeffreyi*, *P. ponderosa*, *P. strobus* a *P. uncinata*. Na Slovensku prevláda rozšírenie tohto morfortypu.

Kultúry *C. niveum* boli identifikované na základe sekvenovania ITS regiónu, kde však v porovnaní s dostupnými sekvenciami v databáze Genbank vykazovali nukleotidovú variabilitu, čo naznačuje určitý stupeň diverzity v rámci európskej populácie. Spolu s nedávnym opisom tretieho morfortypu *C. minus* na Novom Zélande, ktorý naznačuje ďalšiu diverzifikáciu, si určite vyžaduje ďalšie podrobné genetické štúdie buď na multigénovej alebo genómovej úrovni zahŕňajúc početnejšiu kolekciu vzoriek s väčším geografickým rozsahom izolátov /42/.

Hnedá sypavka borovicových ihlíc (Brown spot needle blight, BSNB) spôsobená hubou *Lecanosticta acicola*

Huba *L. acicola* (Thüm.) Syd. bola v Európe vyhlásená ako karanténny organizmus v skupine A2 /15/. Po prvý krát bola huba zaznamenaná v roku 1942 v Španielsku /31/, neskôr v juhovýchodnej Európe v roku 1975 /34/. Počas 90. rokov 20. storočia sa huba šírila cez Francúzsko /19/, Nemecko /43/, Švajčiarsko /17/, Rakúsko /11/ a Taliansko /27/, a v poslednej dobe bola zaznamenaná v 17 európskych krajinách /54/.

Prvé príznaky prítomnosti huby *L. acicola* sa objavia na ihličkách ako oranžovo/žlté, niekedy živcou nasiaknuté škvrny, ktoré sa neskôr v strede stanú tmavohnedými so žltým okrajom. Niekedy majú tieto škvrny tmavší okraj, hoci okolo nich je vždy viditeľný žltkastý kruh (Obr. 4 A). Škvry sa zvyčajne rozširujú do pásov obopínajúcich ihlicu a spôsobujú odumieranie častí distálne od hnedého prúžka. Lézie sú vždy ostro ohraničené od okolitého živého tkaniva. Napadnuté ihličie zvyčajne vykazuje odumreté špičky, centrálné zóny so škvrnami v zelenom tkanive a zelené bázy ihlíc (Obr. 4B). Poškodené ihličie je niekedy kratšie ako zdravé. V hnedo sfarbených odumretých častiach ihličia sa pod epidermou vyvíjajú čierne stromáty viditeľné ako okrúhle čierne škvrny (Obr. 4 C).



Obrázok 4 Silne napadnutá *Pinus mugo* hubou *Lecanosticta acicola*, A- prvotné príznaky ochorenia hnedá sypavka borovicových ihlíc, B- typické symptómy napadnutia zelené bázy ihlíc, nekrotické špičky ihlíc a žlté alebo hnedé škvrny v centrálnej časti ihlice, C-plodnica huby, ktorá rozpraskla epidermis ihlice

Počas ďalšieho vývoja oválne plodnice prerazia otvor epidermy jednou alebo dvoma pozdĺžnymi štrbinami, čím ju nadvihnú. Za vlhkých podmienok sa konídie uvoľňujú z acervúl vo forme slizovitej, zelenej hmoty a sú rozširované dažďom. Toto je hlavný spôsob šírenia

huby zo stromu na strom. Konídie môžu byť prenášané aj hmyzom, lesníckym náradím, ale aj vetrom, pričom prenášané askospóry sú presúvané na veľké vzdialenosti. K prenosu spór na veľmi veľké vzdialenosti prispieva infikovaný materiál z produkčných škôlok, interkontinentálny prenos prostredníctvom semenného materiálu. Po silnom napadnutí celé ihličie zhnedne, potom osivie a predčasne opadáva. Pri menej silných napadnutiach môže byť opadávanie ihličia oneskorené o 1 alebo 2 roky. Silne napadnuté borovice zvyčajne vykazujú vetvičky nesúce iba ihličie z aktuálneho roka. Tieto ihličia s rozvojom choroby nadobúdajú vzhľad „štetca“. V priebehu niekoľkých rokov môže choroba viesť k odumretiu konárov a stromov /15, 46/. Druh *L. acicola* a *D. septosporum* sa na seba ponášajú symptomaticky aj morfológicky. Veľkosť konídií pri druhoch *L. acicola* a *D. septosporum* nemôžu byť dobrým identifikačným znakom pre ich odlišenie nakoľko v oboch prípadoch značne variuje. Najdôležitejším a najkonzistentnejším znakom na ich štruktúra a farba konídiovej steny: konídie *L. acicola* sa vyznačujú melanínovými granulami integrovanými do ich vonkajšej steny. Pri pohľade pod mikroskopom sú spóry svetlohnedé až tmavohnedé a majú hrubé steny s bradavicovým povrchom /15/.

Na Slovensku bolo na výskyt BSNB celkovo preskúmaných viac ako 80 lokalít. Vyhodnotili sme takmer 170 vzoriek DNA, aby sme určili výskyt na jednotlivých lokalitách ich hustotu a hostiteľskú základňu. Vzorky sme posúdili aj z hľadiska genetického a zistili sme štruktúru párovacích typov. *L. acicola* bola prítomná v 17 vzorkách z 13 lokalít v urbánnom prostredí a arborétach. Ako hostitelia hnedej sypavky na Slovensku boli identifikované štyri druhy borovíc. Tri z nich sú tiež etablovanými hostiteľmi *L. acicola* v Európe. Nakoľko sme zaznamenali prítomnosť len jediného párovacieho typu, môžeme predpokladať, že na Slovensku pohlavné rozmnožovanie absentuje a populácia sa rozmnožuje klonálne. Predpokladáme teda, že ani diverzita populácie nebude vysoká /1/.

ZÁVER

Niekoľkoročný výskum sypavkových ochorení na Slovensku priniesol jednoznačné výsledky potvrdením prítomnosti jednotlivých hubových patogénov v porastoch borovíc či v mestskom prostredí, arborétach, plantážach, alebo lesnom poraste a v prirodzených porastoch borovíc. Súčasne s tým však pri podrobnejšom výskume vyvstali nové otázky, ktoré budú súčasťou výskumu v nasledujúcom období.

LITERATURA

- /1/ Adamčíková, K., Jánošíková, Z., van der Nest, A., Adamčík, S., Ondrušková, E., Barnes, I.: Population structure and genetic diversity suggest recent introductions of *Dothistroma pini* in Slovakia. *Plant Pathology*, 70, 2021:1883– 1896.
- /2/ Adamčíková, K., Ondrušková, E., Pažitný, J., Jánošíková, Z. Rozdiel v morfológii kultúr dvoch príbuzných druhov, *Dothistroma septosporum* a *D. pini*. – *Czech Mycology*, 73(1), 2021b: 109–119.
- /3/ Adamčíková, K., Pastirčáková, K., Jánošíková, Z., Ostrovský, R., Pastirčák, M., Pažitný, J., Kobza, M., Adamčík, S., Kádasi-Horáková, M., Ondrušková, E. New regional records of *Dothistroma* needle blight pathogens from Slovakia: distribution, hosts and pathogens characterization. *Ann. For. Res.*, 66(1), 2023: 99-111.
- /4/ Barnard, E.L., Ash, E.C. Needlecasts of pines in Florida. *Plant Pathology Circular*, 388, 1998:1–4.
- /5/ Barnes, I., Crous, P.W., Wingfield, B.D., Wingfield, M.J. Multigene phylogenies reveal that red band needle blight of *Pinus* is caused by two distinct species of *Dothistroma*, *D. septosporum* and *D. pini*. *Studies in Mycology*, 50, 2004: 551-565.

- /6/ Barnes, I., van der Nest, A., Granados, G.M., Wingfield, M.J. Dothistroma needle blight. In Asiegbu, F.O., Kovalchuk, A. (eds.), Forest Microbiology, Forest tree Health, Vol. 2. Academic Press, London, San Diego, Cambridge, Oxford, 2022: 179-199.
- /7/ Beets, P.N., Oliver, G.R., Kimberley, M.O. Genotypic variation in symptoms of upper mid-crown yellowing and *Cyclaneusma minus* in a *Pinus radiata* stand. New Zealand Journal Forest Science, 27, 1997: 69–75.
- /8/ Brodde, L., Adamson, K., Julio Camarero, J. Forest pathogens with higher damage potential due to climate change: A review. Forest Ecology and Management, 433, 2019: 110-123.
- /9/ Bulman, L.S., Gadgil, P.D. *Cyclaneusma* needle cast in New Zealand. Forest Research Bulletin, Rotorua. Forest Research Institute Ltd, 222, 2001:12-19.
- /10/ Caballol, M., Méndez- Cartin, A.L., Serradó, F., De Cáceres, M., Coll, L., Oliva, J. Disease in regenerating pine forests linked to temperature and pathogen spillover from the canopy. Journal of Ecology, 110, 2022: 2661–2672.
- /11/ Cech, T.L. Brown spot disease in Austria – the beginning of an epidemic. Forstschutz Aktuell, 19, 1997:17.
- /12/ Diwani, M.L., Marcais, B., Nageleisen, L.M., Piou, D., Vaninni, A. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. Annals of Forest Science, 63(6), 2007: 597–612.
- /13/ Diwani, S.A., Millar, C.S. Pathogenicity of three *Lophodermium* species on *Pinus sylvestris* L. Eur J For Pathol. 17, 1987:53–58.
- /14/ Drenkhan, R., Tomešová-Haataja, V., Fraser, S., Bradshaw, R.E., Vahalík, P., Mullett, M.S., ... Cleary, M. Global geographic distribution and host range of *Dothistroma* species: A comprehensive review. Forest Pathology, 46, 2016: 408–442.
- /15/ EPPO. PM7/46 (3) *Lecanosticta acicola* (formerly *Mycosphaerella daernesii*), *Dothistroma septosporum* (formerly *Mycosphaerella pini*) and *Dothistroma pini*. Bull OEPP. 45(2) 2015:163–182.
- /16/ Hanso, M., Drenkhan, R. Retrospective analysis of *Lophodermium seditiosum* epidemics in Estonia. Acta Silv Lignaria Hung. Spec. Edition. 2, 2007: 31–45.
- /17/ Holdenrieder, O., Sieber, T.N. First report of *Mycosphaerella dearnessii* in Switzerland. Eur J For Pathol. 25, 1995: 293–295.
- /18/ Hunter, S., Glen, M., McDougal, R. Molecular tools for differentiating *Cyclaneusma minus* morphotypes and assessing their distribution in *Pinus radiata* forests in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science, 46, 2016:2.
- /19/ Chandelier, P., Lafaurie, C., Maugard, F. Découverte en France de *Mycosphaerella dearnessii* sur *Pinus attenuata* × *radiata*. C R Acad Agric Fr. 80, 1994:103–108.
- /20/ Ivanová, H. Fungi associated with a decline of *Pinus nigra* in urban greenery. Acta Fytotech Zootech. 18, 2015: 36–43.
- /21/ Jankovský, L. Sypavky borovic. Lesnická práce. 82, 2003:304.
- /22/ Jánošíková – Hečková, Z., Ondrušková, E., Barta, M., Ostrovský, R., Kádasi Horáková, M., Pastirčáková, K., Kobza, M., Adamčíková, K. The hosts and geographic range of *Dothistroma* needle blight in Slovakia. Forest Pathology, 2018: e12421.
- /23/ Jánošíková, Z., Dutech, C., Ondrušková, E., Adamčíková, K., Mullett, M. Population structure and genetic diversity of *Dothistroma septosporum* in Slovakia. Eur J Plant Pathol. 160, 2021: 771–787.
- /24/ Jánošíková, Z.; Adamčíková, K.; Ondrušková, E.; Ostrovský, R.; Woodward, S.; Fraser, S. Histological Analysis of *Dothistroma septosporum* Infection on Different Provenances of *Pinus sylvestris*. Forests 16 (6), 2025: 973.
- /25/ Karadzic, D. Infection of *Pinus sylvestris* by *Naemacyclus minor*. In: Millar CS (ed) Current Research on Conifer Needle Diseases. Proceedings of the international union of forestry research organisations working party on needle diseases conference. Aberdeen University, Aberdeen, 1981: 90–101.
- /26/ Koukol, O., Pusz, W., Minter, D. A new species of *Lophodermium* on needles of mountain pine (*Pinus mugo*) from the Giant Mountains in Poland. Mycol Prog. 14(23), 2015: 11.
- /27/ La Porta, N., Capretti, P. *Mycosphaerella dearnessii*, a needle-cast pathogen on mountain pine (*Pinus mugo*) in Italy. Plant Dis. 84, 2000: 922.
- /28/ Lazarev, V., Karadžić, D., Marković, M., Pap, P., Poljaković-Pajnik, L. The most frequent *Lophodermium* spp. on Scots pine and Austrian pine and their role in the appearance of other fungi on the needles. Acta Silv Lignaria Hung., Spec. Edition. 2007: 53–59.

- /29/ Leontovyč, R. Fytopatogénne organizmy v roku 2016. In: Kunca A. et al. Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska v roku 2016 a ich prognóza na rok 2017. NLC: Zvolen, 2016, 79 s.
- /30/ Markovskaja, S., Kačergius, A., Davydenko, K., Fraser, S. First record of *Neocatenulostroma germanicum* on pines in Lithuania and Ukraine and its co-occurrence with *Dothistroma* spp. and other pathogens. *Forest Pathology*, 46, 2016: 522–533.
- /31/ Martínez, J.B. The mycoses of *Pinus insignis* in Guipúzcoa. *Publ Inst for Invest Exp.* 13, 1942:1–72.
- /32/ Martinsson, O. Testing Scots pine for resistance to *Lophodermium* needle cast. *Stud For Suec.* 150, 1979:1–63.
- /33/ Merrill, W., Wenner, N.G. Formation and maturation of apothecia of *Cyclaneusma minus*. *General technical report WO-US Department of Agriculture, Forest Service (USA)*, 1990.
- /34/ Milatović, I. Needle cast of pines caused by fungi *Schirrhia pini* Funk et Parker and *Schirrhia acicola* (Dearn.) Siggers in Yugoslavia. *Agric Conspec Sci.*, 39, 1976:511–513.
- /35/ Millberg, H., Boberg, J., Stenlid, J. Changes in fungal community of Scots pine (*Pinus sylvestris*) needles along a latitudinal gradient in Sweden. *Fungal Ecol.* 17, 2015:126–139.
- /36/ Minter, D.W. *Lophodermium* on pines. *Mycol Pap.*, 147, 1981:1–54.
- /37/ Musil, I., Hamerník, J. *Jehličnaté dreviny. Lesnická dendrologie I.* Academia: Praha, 2007: 352 s.
- /38/ Ostry, M.E., Nichols, T.H., Carlson, J.C., Adams, G.C. *Cyclaneusma* Needlecast in Scots Pine Christmas Tree Plantations in the Lake States¹. In: *Recent Research on Foliage Diseases: Conference Proceedings: Carlisle, Pennsylvania, May 29-June 2, 1989.* US Department of Agriculture, Forest Service, 1990: 19.
- /39/ Ondrušková, E., Hečková, Z., Kádasi Horáková, M., Koltay, A., Ostrovský, R., Pažitný, J., Adamčíková, K. Distribution and characterization of *Dothistroma* needle blight pathogens on *Pinus mugo* in Slovakia. *European Journal of Plant Pathology*, 148, 2017: 283–294.
- /40/ Ondrušková, E., Jánošíková, Z., Adamčík, S., Kádasi Horáková, M., Rakúsová-Sládková, D., Adamčíková, K. Needle blight caused by *Dothistroma pini* in Slovakia: distribution, host range and mating types. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33, 2018: 650–656.
- /41/ Ondrušková, E., Adamčík, S., Kobza, M., Jánošíková, Z., Ostrovský, R., Pastířáková, K., Caboň, M., Adamčíková, K. Checking the balance between pathogenic and mutualistic pine needle fungi of the genus *Lophodermium* in forested and urban areas of Slovakia, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38 (1-2), 2023: 39-48.
- /42/ Ondrušková, E., Kobza, M., Jánošíková, Z., McDougal, R., Adamčíková, K. Which *Cyclaneusma minus* morphotypes are responsible for needle cast of *Pinus* spp. in Slovakia? *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2024: 1-8.
- /43/ Pehl, V.L. Lecanosticta-Nadelbräune. Eine neue Kiefernkrankheit in der Bundesrepublik Deutschland. *Nachrl Dtsch Pflanzenschutzd.* 47, 1995: 305–309.
- /44/ Rajkovic, S., Markovic, M., Rakonjac, L. Incubation Methods for Forecasting the Occurrence and Development of *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley amp; Millar on Pine. *Fungicides- Showcases of Integrated Plant Disease Management from Around the World.* InTech. 2013, Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/51233>.
- /45/ Sarvaš, M., Bruchánik, R., Hoffmann, J., Chválová, K., Ježovič, V. Basic characteristics of forest trees - ecological demands, morphology, forest seed production and nursery, gene management basic. Zvolen, Slovakia: National Forest Center. 2010: 82s.
- /46/ Sinclair, W.A., Lyon, H.H. 2005 *Disease of trees and shrubs*, 2nd ed. Comstock Pub: Ithaca. Associates. 2005: 660 s.
- /47/ Schlyter, P., Stjernquist, I., Barring, L., Jönsson, A.M., Nilsson, C. Assessment of the impacts of climate change and weather extremes on boreal forests in northern Europe. *Climatic Change*, 81, 2006: 193–205.
- /48/ Stenström, E., Ihrmark, K. Detection of *Lophodermium seditiosum* from Pine needles using PCR techniques. In: Dehne, H.W., Adam, G., Diekmann, M., Frahm, J., Mauler-Machnik, A., van Halteren, P. (ed.). *Diagnosis and identification of plant pathogens. Developments in plant pathology.* Dordrecht, Netherlands: Springer, 1997: 223–226.
- /49/ Stenström, E., Ihrmark, K. Identification of *Lophodermium seditiosum* and *L. pinastri* in Swedish forest nurseries using species-specific PCR primers from the ribosomal ITS region. *For Pathol.*, 35, 2005:163–172.

- /50/ Sturrock, R. N., Frankel, S. J., Brown, A. V., Hennon, P. E., Kliejunas, J. T., Lewis, K. J., Worrall, J. J., Woods, A. J. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60(1), 2011:133-149.
- /51/ Tarallo, M., Dobbie, K.B., Leite, L.N., Waters, T.L., Tasmin Gillard, K.N., Sen, D., Mesarich, C.H., Bradshaw, R.E., McDougal, R.L. 2024 Genomic and culture-based analysis of *Cyclaneusma minus* in New Zealand provides evidence for multiple morphotypes. *Phytopathol Res.*, 6, 2024: 37.
- /52/ Tubby, K.V., Webber, J.F. Pests and diseases threatening urban trees under a changing climate. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83(4), 2010: 451–459.
- /53/ Watt, M. S., Kriticos, D. J., Alcaraz, S., Brown, A.V., Leriche, A. The hosts and potential geographic range of *Dothistroma* needle blight. *For. Ecol. Manage.*, 257, 2009: 1505–1519.
- /54/ van der Nest, A., Wingfield, M.J., Janoušek, J., Barnes, I. *Lecanosticta acicola*: A growing threat to expanding global pine forests and plantations. *Mol Plant Pathol.*, 20(10) 2019:1327–1364.
- /55/ Woods, A.J., Martín-García, J., Bulman, L., Vasconcelos, M.W., Boberg, J., La Porta, N., Peredo, H., Vergara, G., Ahumada, R., Brown, A., Diez, J.J. *Dothistroma* needle blight, weather and possible climatic triggers for the disease's recent emergence. *For. Path.*, 46,2016: 443–452.
- /56/ Zelená správa - Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2023. 2024: 78 s.

PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla vďaka finančnej podpore Agentúry pre vedu a výskum projektov VEGA 2/0122/22 a VEGA 2/ 0034/25, tiež projektu MVTs COST 20132.

THE PRESENCE OF SELECTED SACCHARIDES IN SPRUCE TREES AFFECTED BY *GEMMAMYCES PICEAE*

OBSAH VYBRANÝCH SACHARIDŮ VE SMRCÍCH NAPADENÝCH GEMMAMYCES PICEAE

Ivana Tomášková¹, Alina Kalyniukova¹, Michal Samek², Roman Modlinger¹, Vítězslava
Pešková¹

¹ Czech University of Life Sciences, Prague, Kamýcká 129, CZ - 165 00 Praha 6 - Suchbát, Czech Republic, tomaskova@fld.czu.cz

² Forestry Game Management Research Institute, Strnady 136, CZ-252 02, Jiloviště, Czech Republic

Summary

The aim of our study was to elucidate presence of selected saccharides in Norway spruce roots infected and non-infected by *Gemmamyces piceae* – parasitic fungi in conifers buds. Huge infestation pressure of fungal spores originating from introduced *Picea pungens* on formerly polluted sites and acidified soils planted here between 1970-1980 to protect the bare forest soils on more than 70 000 ha. The objective of the experiment was to investigate the presence of selected saccharides and mycorrhizal metabolites in roots of healthy and damaged spruce trees, using LC-qTOF-MS/MS analysis for saccharides and ergosterol determination in roots and needles. Healthy tree roots contain a higher concentration of mycorrhizal saccharides products as trehalose and mannitol. Although the differences between healthy and damaged trees were not statistically significant, we hypothesize a potential beneficial effect on plant health. We conclude that the poor resilience to *Gemmamyces piceae* is given by is the consequence of long-term environmental load influencing the mycorrhizal fungi occurrence.

Key words: fungi, saccharides, Norway spruce, pathogen, ergosterol

Souhrn

Cílem naší studie bylo objasnit přítomnost vybraných sacharidů v kořenech smrku ztepilého infikovaných a neinfikovaných *Gemmamyces piceae* – parazitickými houbami v pupenech jehličnanů. Obrovský tlak napadení houbovými spórami pocházejícími z introdukovaných smrků *Picea pungens* na dříve znečištěných lokalitách a okyselených půdách, které zde byly vysazeny v letech 1970–1980 za účelem ochrany holých lesních půd na ploše více než 70 000 ha. Cílem experimentu bylo zkoumat přítomnost vybraných sacharidů a mykorhizních metabolitů v kořenech zdravých a poškozených smrků pomocí LC-qTOF-MS/MS analýzy pro stanovení sacharidů a ergosterolu v kořenech a jehlicích. Kořeny zdravých stromů obsahují vyšší koncentraci mykorhizních sacharidových produktů, jako je trehalóza a mannitol. Ačkoli rozdíly mezi zdravými a poškozenými stromy nebyly statisticky významné, předpokládáme potenciální příznivý vliv na zdraví rostlin. Došli jsme k závěru, že špatná odolnost vůči *Gemmamyces piceae* je důsledkem dlouhodobého zatížení životního prostředí, které ovlivňuje výskyt mykorhizních hub.

Klíčová slova: houby, sacharidy, smrk ztepilý, patogen, ergosterol

INTRODUCTION

The global climate affects precipitation distributions and temperature extremes. In Europe, drought events are expected to increase regardless of emission scenarios /10/. The negative impacts of climate change are more pronounced in sites with long-term damage and impaired soil properties, such as the forests in the so-called Black Triangle region, i.e. the former Czechoslovakia, Germany and Poland. In the second half of the 20th century, tree stands in the Ore Mountains were significantly damaged by air pollution /27. One of them - *Gemmamyces piceae* causing the bud blight disease to occur in Norway spruce as a consequence of the substituted North American blue spruce specie planted at former polluted sites /26/.

Even after 30 years, the fungal and microbial communities living in the soil failed to recover /31/. Nevertheless, the reduced ectomycorrhizal fungal diversity is still beneficial to the host tree /9/ as ectomycorrhizal fungi are tolerant to low pH ranges from 3.5 to 5.5 the pH soil in investigated area is still below 3 /8/. Mycorrhizal associations enhance tree resilience to climate stressors such as drought, heat waves /17/, heavy metal toxicity /13/, and pathogens /2/. The diversity of mycorrhizal fungi can serve as an indicator of forest health /4/.

Mycorrhizal fungi obtain sucrose from the tree, which they metabolize into products of fungal metabolism. These compounds, trehalose and mannitol, perform multiple functions in fungi. Early studies found very low trehalose concentrations in flowering plants, suggesting a fungal or microbial origin /14/. Both molecules have osmoprotective function /5, 30/. Increased trehalose levels enhance the remobilization of polyphosphates, promoting phosphate efflux in the fungus–plant apoplast and thereby increasing phosphorus availability, which is often limited in the soil profile /29/. Mannitol can form stable diesters with boric acid /11/. Boron, in turn, is recognized for its role in protecting Norway spruce buds from frost damage /22/. In the last three decades, saccharides were considered to be multifunctional molecules, able to defend the plant against pathogens and transporters with signal functions (e.g /6/).

Prior to this investigation, following hypothesis was raised: The difference in saccharide concentrations between mycorrhizal and non-mycorrhizal trees is expected to be significantly greater in healthy trees.

MATERIALS AND METHODS

STAND DESCRIPTION

The northeastern Krušné hory Mts. (Ore Mts., 50.68910; 13.59334) are formed mainly of gneiss and granulite. The southwestern area is formed of phyllites and granites /18/. Podzols and Cambisols are the most extensive soil groups in this area. The mean annual precipitation often exceeds 1000 mm, making the area humid to perhumid. Horizontal precipitation enhances the humidic character of the climate. Mean annual temperatures range over 4° C–6 °C /16/.

PHYTOPATHOLOGICAL SURVEY OF THE *GEMMAMYCES PICEAE* NECROTROPHIC FUNGI

Since 2009, the fungus has spread intensively on Norway spruce buds in the Ore Mts. /23/. *Gemmamyces piceae* (Borthw.) is a sac fungus (Ascomycetes), infecting the buds of some spruce species /3/. Due to the infestation, shoot growth is either completely interrupted and shoots die, or its morphology is changed (Fig. 1). The evaluation of fungal infestation on

Norway spruce took place in the years 2016 to 2020, always on the same individual spruce. The trees were divided into two categories according to bud blight disease occurrence in buds – healthy and damaged.



Fig. 1: Bud blight disease caused by *Gemmamyces piceae* on Norway spruce. Photo by courtesy Roman Modlinger.

ROOT AND NEEDLE SAMPLING AND SAMPLE PREPARATION FOR LC ANALYSIS

Root samples were collected using a root auger with a 6 cm inner diameter to a depth of 15 cm. Branches were cut from healthy and damaged trees identified in the phytopathological survey, using telescopic scissors at approximately 8 meters above ground. Saccharides were determined by using LC-qTOF-MS/MS analysis. The extraction of monosaccharides and oligosaccharides was performed accordingly to Šulc et al. (2021) /28/. Briefly, 25 mg of roots or required samples were placed into a 2-mL test tube and 1.5 mL of methanol: water (80:20 v/v) was added. The tube was vortexed for a couple of seconds and then placed in a thermoshaker (TS-100, Biosan, Latvia) for 30 min at 50° C and 1,000 rpm. The samples were then centrifuged at 12,500 rpm for 10 min. For the extraction of ergosterol, 25 mg of root samples was weighted into the 2-mL test tube and 1 mL of methanol was added. The test tubes were placed into the thermo-shaker for 30 min at the shaking speed 1,200 rpm. After, the samples were centrifuged at 13 000 rpm for 5 min. The supernatant was collected and filtered through PVDF syringe filters (0,22 µm) prior to LC-qTOF-MS/MS and HPLC-PDA analysis. The following monosaccharides, oligosaccharides and sugar alcohols underwent estimation: glucose, fructose, sucrose, trehalose, mannitol and raffinose.

STATISTICAL ANALYSIS

The obtained data were not normally distributed; therefore, a logarithmic transformation was applied. The data were divided into two groups: damaged and undamaged trees. A one-way ANOVA was conducted to identify significant differences at the $\alpha = 0.05$ significance level

using Statistica 13.3 (Tibco Software Inc., USA). For comparison of occurrence frequencies, the chi-square test was used, and Pearson's correlation coefficient was employed to calculate correlation.

RESULTS

Mono- and oligosaccharides in healthy spruce roots and roots damaged by *Gemmamyces*

The measurements clearly revealed differences between damaged and healthy trees in the content of selected saccharides, mannitol, and ergosterol. Although these differences were not statistically significant due to high data variability, trehalose, as a product of fungal metabolism, and ergosterol were lower in trees damaged by the fungus. Trehalose concentrations in the roots of healthy trees reached 538 ± 197 $\mu\text{g/g}$ dry weight compared to 516 ± 214 $\mu\text{g/g}$ in damaged trees. Notably, trehalose levels in needles showed considerable variation: in approximately half of the samples, trehalose was below the instrument's detection limit, and it was one-tenth of the root trehalose content. Chi-squared analysis did not detect differences in the frequency of trehalose occurrence in needles between damaged and healthy trees (Figure 2).

Considering the ability of mannitol to bind boric acid with significant ecological implications, we focused on comparing mannitol content in roots and needles. Mannitol in the roots of healthy spruce trees was 603 ± 262 $\mu\text{g/g}$ dry weight, compared to 566 ± 262 $\mu\text{g/g}$ in roots of damaged trees. Mannitol levels in needles were similarly lower than those in roots, measuring 30 ± 13 $\mu\text{g/g}$ dry weight, but unlike trehalose, mannitol was present in every needle sample from both damaged and healthy trees.

Among the analyzed saccharides, glucose was the most abundant, reaching 1150 ± 327 $\mu\text{g/g}$ dry weight in roots of both healthy and damaged trees, and approximately eight times higher concentrations in needles compared to roots.

Correlation coefficients between saccharides and ergosterol in roots and needles revealed that damaged trees exhibited a significantly higher number of positive and negative correlations, particularly involving trehalose. Trehalose showed strong correlations with mannitol, raffinose, and sucrose content (Table 1). No correlation was found between the concentrations of a given saccharide or ergosterol in roots and needles.

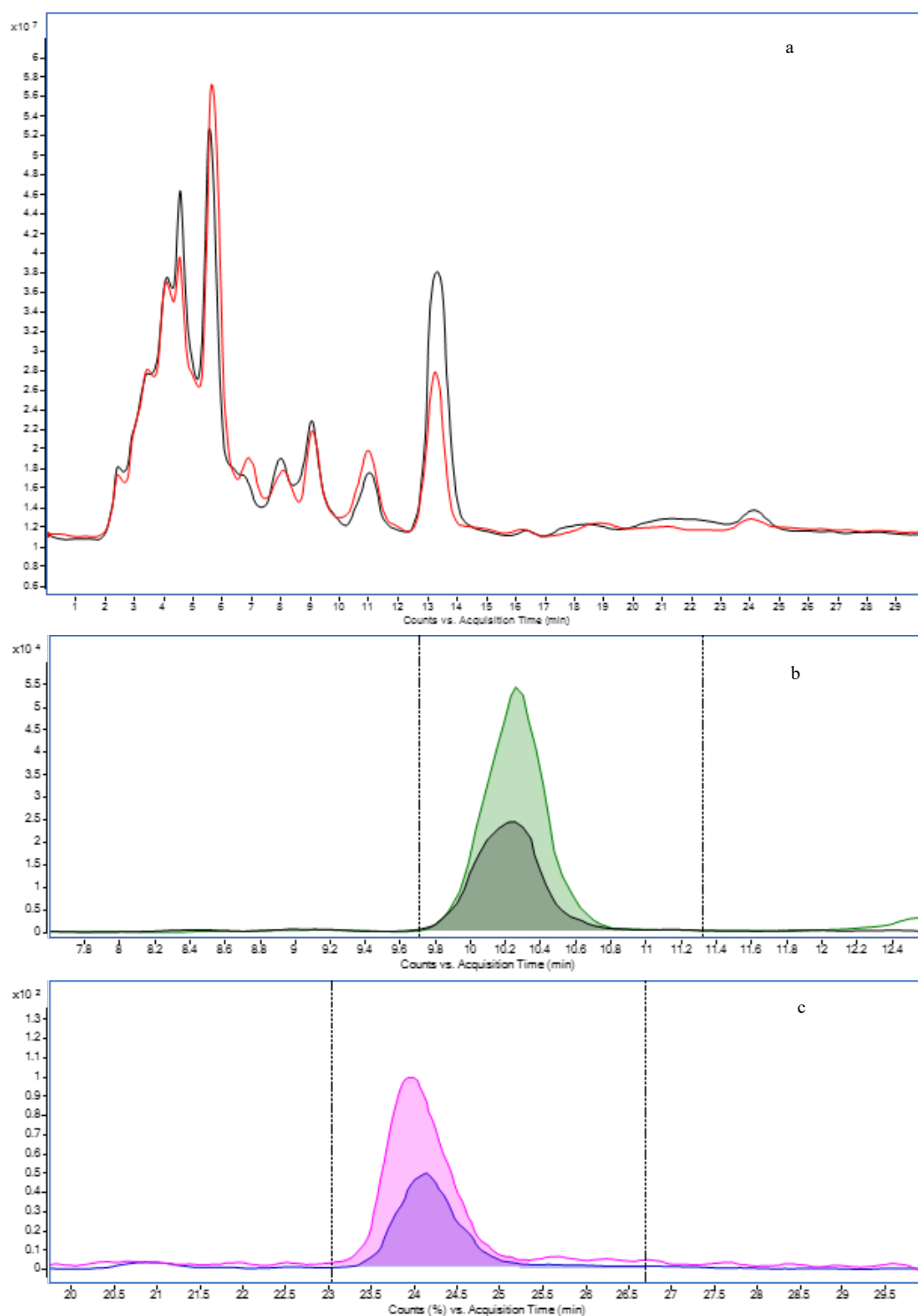


Fig. 2: Total ionic chromatogram of non-damaged sample (black) and damaged (red) root samples, 1b) extracted-ion chromatogram of mannitol non-damaged (light green) and damaged (dark green) and 1c) extracted-ion chromatogram of mannitol non-damaged (pink) and damaged (violet).

Table 1: Concentration of selected saccharides in roots and needles of healthy and damaged trees, expressed in $\mu\text{g/g}$ dry weight (DW). Tre – trehalose, man – mannitol, raf- raffinose, fruc – fructose, suc – sucrose, glu - glucose

Healthy	tre_root	man_need	man_root	raf_need	raf_root	fruc_need	fruc_root	suc_need	suc_root	glu_need	glu_root
tre_root	NS	NS	0,39	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,47
man_need	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
man_root	0,39	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,32
raf_need	NS	NS	NS	NS	NS	-0,36	NS	0,63	-0,33	NS	NS
raf_root	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,39	NS	NS	NS
fruc_need	NS	NS	NS	-0,36	NS	NS	NS	NS	NS	0,58	NS
fruc_root	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,46
suc_need	NS	NS	NS	0,63	0,39	NS	NS	NS	NS	-0,44	NS
suc_root	NS	NS	NS	-0,33	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,35
glu_need	NS	NS	NS	NS	NS	0,58	NS	-0,44	NS	NS	NS
glu_root	0,47	NS	0,32	NS	NS	NS	0,46	NS	0,35	NS	NS
ergo_root	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Damaged	tre_root	man_need	man_root	raf_need	raf_root	fruc_need	fruc_root	suc_need	suc_root	glu_need	glu_root
tre_root	NS	-0,39	0,55	-0,42	0,57	NS	NS	-0,39	0,33	NS	NS
man_need	-0,39	NS	NS	NS	-0,53	NS	NS	NS	-0,40	NS	NS
man_root	0,55	NS	NS	NS	NS	NS	0,32	NS	NS	NS	NS
raf_need	-0,42	NS	NS	NS	NS	-0,34	NS	0,69	NS	NS	NS
raf_root	0,57	-0,53	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,67	NS	0,52
fruc_need	NS	NS	NS	-0,34	NS	NS	NS	NS	NS	0,67	NS
fruc_root	NS	NS	0,32	NS	NS	NS	NS	NS	0,34	NS	0,62
suc_need	-0,39	NS	NS	0,69	NS	NS	NS	NS	NS	-0,32	NS
suc_root	0,33	-0,40	NS	NS	0,67	NS	0,34	NS	NS	NS	0,67
glu_need	NS	NS	NS	NS	NS	0,67	NS	-0,32	NS	NS	NS
glu_root	NS	NS	NS	NS	0,52	NS	0,62	NS	0,67	NS	NS
ergo_root	0,56	NS	0,71	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

DISCUSSION

Our hypothesis that ergosterol concentrations would be significantly higher as a marker of mycorrhizal fungus presence, along with markedly elevated trehalose levels as a fungal metabolic product, was only partially confirmed. While roots of damaged trees exhibited lower saccharide levels, none of the differences were statistically significant. This is likely due to the high variability in the data, which may have been caused by considerable differences in soil conditions. During sample collection, edaphic categories were selected to range from nutrient-rich through gleyed to acidic soils, potentially influencing the uneven distribution of mycorrhizal fungi.

We assume, that the reduced presence of mycorrhizal fungi in damaged trees decreased their resilience to biotic stressors such as bud blind disease, contributing to disease development. Moreover, the disease's progression was also promoted by the reduction of emissions in the 1990s, as historically high levels of sulfur and nitrogen wet deposition had provided some protection to the assimilation apparatus against fungal pathogens [19]. Beyond nutrient exchange, mycorrhiza and products of its metabolism serve additional functions,

including protecting the host plant from disease by secreting fungistatic compounds and supporting beneficial soil organisms /15/.

The relationship between trehalose and root vigor, first reported by Niederer et al. (1989) /21/, suggests that trehalose synthesis rate could serve as an indicator of root health. This has been further supported by numerous studies /7/, demonstrating trehalose's role in plant defense mechanisms, such as the accumulation of reactive oxygen species. For example, higher trehalose accumulation was found in Scots pine following *Armillaria ostoyae* attack /12/.

Although direct measurements of saccharide translocation between symbionts and hosts are lacking in this experiment, biochemical communication likely occurs, enabling mutualistic benefits /25/. Mannitol and trehalose are among the compounds that could be involved in long-distance transport /20/. We observed several positive correlations between individual saccharides in roots and needles, particularly between trehalose in both organs of damaged trees. Additionally, strong correlations were found between raffinose or mannitol and ergosterol in damaged trees. These saccharides not only serve as energy sources but also exhibit osmoprotective functions, aiding plants to better withstand adverse climatic conditions. Alongside saccharide metabolism, mycorrhizae also enhance mineral nutrition uptake, including micronutrients /29/

Saccharide partitioning within plants often reflects environmental conditions; for instance, under drought stress, *Fagus sylvatica* roots show increased mannitol and arabitol levels at the expense of trehalose /24/. Comparisons between mycorrhizal and non-mycorrhizal olive trees reveal higher mannitol content in roots and leaves of mycorrhizal trees /29/. Correspondingly, elevated pools of mannitol, glucose, fructose, sucrose, and raffinose were recorded in mycorrhizal olive roots, although glucose levels remained similar between mycorrhizal and non-mycorrhizal roots. This suggests that fungi preferentially utilize glucose over other monosaccharides, incorporating it into trehalose, which constitutes a significant carbon transfer from plant to fungus /1/.

In conclusion, while variability in environmental factors complicates precise quantification, our findings support the important roles of mycorrhizal fungi and their metabolic products in enhancing tree resilience and physiological function under biotic and abiotic stress.

REFERENCES

- /1/ Bago B, Pfeiffer PE, Shachar-Hill Y. 2000. Carbon Metabolism and Transport in Arbuscular Mycorrhizas. *Plant Physiology* 124: 949–958.
- /2/ Corcobado T, Vivas M, Moreno G, Solla A. 2014. Ectomycorrhizal symbiosis in declining and non-declining *Quercus ilex* trees infected with or free of *Phytophthora cinnamomi*. *Forest Ecology and Management* 324: 72–80.
- /3/ Černý K, Pešková V, Soukup F, Havrdová L, Strnadová V, Zahradník D, Hrabětová M. 2016. *Gemmamyces* bud blight of *Picea pungens*: a sudden disease outbreak in Central Europe. *Plant Pathology*.
- /4/ Egli S. 2011. Mycorrhizal mushroom diversity and productivity—an indicator of forest health? *Annals of forest science* 68: 81–88.
- /5/ Elbein AD, Pan YT, Pastuszak I, Carroll D. 2003. New insights on trehalose: a multifunctional molecule. *Glycobiology* 13: 17R-27R.
- /6/ ElSayed AI, Rafudeen MS, Golldack D. 2014. Physiological aspects of raffinose family oligosaccharides in plants: protection against abiotic stress. *Plant Biology* 16: 1–8.

- /7/ Fernandez O, Béthencourt L, Quero A, Sangwan RS, Clément C. 2010. Trehalose and plant stress responses: friend or foe? *Trends in plant science* 15: 409–417.
- /8/ Fiala P, Reininger D, Samek T. 2017. Chemistry of soil environment and Norway spruce needles (*Picea abies* L.) on limed and control forest sites in the ore mountains (Czech Republic). *Zprávy Lesnického Výzkumu* 62: 23–32.
- /9/ Gehring CA, Mueller RC, Haskins KE, Rubow TK, Whitham TG. 2014. Convergence in mycorrhizal fungal communities due to drought, plant competition, parasitism and susceptibility to herbivory: consequences for fungi and host plants. *Frontiers in Microbiology* 5: 306.
- /10/ Grillakis MG. 2019. Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. *Science of The Total Environment* 660: 1245–1255.
- /11/ Hu H, Penn SG, Lebrilla CB, Brown PH. 1997. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (The mechanism of phloem mobility of boron). *Plant Physiology* 113: 649–655.
- /12/ Isidorov VA, Lech P, Źółciak A, Rusak M, Szczepaniak L. 2008. Gas chromatographic–mass spectrometric investigation of metabolites from the needles and roots of pine seedlings at early stages of pathogenic fungi *Armillaria ostoyae* attack. *Trees* 22: 531.
- /13/ Janeeshma E, Puthur JT. 2020. Direct and indirect influence of arbuscular mycorrhizae on enhancing metal tolerance of plants. *Archives of microbiology* 202: 1–16.
- /14/ Kandler O, Hopf H. 1980. Occurrence, metabolism, and function of oligosaccharides. In: Carbohydrates: structure and function. Elsevier, 221–270.
- /15/ Kozłowski TT. 1992. Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *The Botanical Review* 58: 107–222.
- /16/ Kupková L, Potůčková M, Lhotáková Z, Albrechtová J. 2018. Forest cover and disturbance changes, and their driving forces: A case study in the Ore Mountains, Czechia, heavily affected by anthropogenic acidic pollution in the second half of the 20th century. *Environmental Research Letters* 13: 95008.
- /17/ Lehto T, Zwiazek JJ. 2011. Ectomycorrhizas and water relations of trees: a review. *Mycorrhiza* 21: 71–90.
- /18/ Lomský B, Šrámek V, Novotný R. 2013. The health and nutritional status of Norway spruce stands in the Krušné hory Mts. 15 years subsequent to the extreme winter of 1995/96. *Journal of Forest Science* 59: 359–369.
- /19/ Magan N, Kirkwood IA, McLeod AR, Smith MK. 1995. Effect of open-air fumigation with sulphur dioxide and ozone on phyllosphere and endophytic fungi of conifer needles. *Plant, Cell & Environment* 18: 291–302.
- /20/ Nehls U. 2008. Mastering ectomycorrhizal symbiosis: the impact of carbohydrates. *Journal of Experimental Botany* 59: 1097–1108.
- /21/ Niederer M, Pankow W, Wiemken A. 1989. Trehalose synthesis in mycorrhiza of Norway spruce: an indicator of vitality. *European Journal of Forest Pathology* 19: 14–20.
- /22/ Räisänen M, Repo T, Lehto T. 2006. Effect of thawing time, cooling rate and boron nutrition on freezing point of the primordial shoot in Norway spruce buds. *Annals of Botany* 97: 593–599.
- /23/ Samek M, Modlinger R, Bařa D, Lorenc F, Vachová J, Tomášková I, Peřková V. 2022. First record of the bud blight *Gemmamyces piceae* on the Norway spruce and subsequent development of the forest stands damage. *Forests*, 13: 164.
- /24/ Shi L, Guttenberger M, Kottke I, Hampp R. 2002. The effect of drought on mycorrhizas of beech (*Fagus sylvatica* L.): changes in community structure, and the content of carbohydrates and nitrogen storage bodies of the fungi. *Mycorrhiza* 12: 303–311.
- /25/ Singh LP, Gill SS, Tuteja N. 2011. Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant Signaling & Behavior* 6: 175–191.

- /26/ Špulák O. 2012. Aboveground biomass and nutrients in an 18-years-old stand of blue spruce (*Picea pungens* Engelm.) as a substitute tree species. *Journal of Forest Science* 58: 253–264.
- /27/ Šrámek V, Fadrhonsová V, Jurkovská L. 2014. Ca/Al ratio in Norway spruce fine roots on monitoring plots in the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 60: 121–131.
- /28/ Šulc M, Tomášková I, Krejzková A, Samek M, Diuzheva A, Hradecký J, Pešková V. 2021. Trehalose determination in Norway spruce (*Picea abies*) roots. *Analytics matters. MethodsX* 8: 101280.
- /29/ Tekaya M, Mechri B, Mbarki N, Cheheb H, Hammami M, Attia F. 2017. Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* influences key physiological parameters of olive trees (*Olea europaea* L.) and mineral nutrient profile. *Photosynthetica* 55: 308–316.
- /30/ Tibbett M, Sanders F, Cairney J. 2002. Low-temperature-induced changes in trehalose, mannitol and arabitol associated with enhanced tolerance to freezing in ectomycorrhizal basidiomycetes (*Hebeloma* spp.). *Mycorrhiza* 12: 249–255.
- /31/ Vacek S, Hůnová I, Vacek Z, Hejčmanová P, Podrázský V, Král J, Putalová T, Moser WK. 2015. Effects of air pollution and climatic factors on Norway spruce forests in the Orlické hory Mts. (Czech Republic), 1979–2014. *European Journal of Forest Research* 134: 1127–1142.

VPLYV ABIOTICKÝCH FAKTOROV NA PÔDU, PRODUKCIU A BIODIVERZITU REVITALIZOVANÉHO TRÁVNEHO PORASTU

THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON SOIL, PRODUCTION AND BIODIVERSITY OF REVITALIZED GRASSLAND

Lubomír Hanzes, Norbert Britaňák, Miriam Kizeková

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, VÚRV – Ústav trávnych porastov a
horského poľnohospodárstva, Dr. Gašperíka 599, 033 80 Liptovský Hrádok,
lubomir.hanzes@nppc.sk

Summary

At the experiment in Liptovská Teplička site (990 m above sea level), consisting of eight treatments (control and seven actively managed treatments by cutting, mulching, and fertilization) we assessed the impact of drought (in 2022 year) on selected grassland parameters (soil chemistry, biomass production and plant diversity). Our results showed that the dry year 2022 substantially influenced soil properties. The lowest content of soil organic carbon and nitrogen were in most cases found in 2022. Drought caused a decrease in dry matter yield in most swards, with the lowest production in the sward cut once per year (1.42 t ha^{-1}). Extensive grasslands (abandoned and mulched treatments) maintained stable production with no significant year-to-year variation, while these grasslands also showed the highest resistance scores (above 0). The lowest resistance value (-0.515) was recorded in the treatment receiving phosphorus and potassium fertilization, which may relate to a greater proportion of legume species that seem vulnerable to prolonged drought. A notably higher resilience score (1.061) was observed not only in certain extensive treatments but also in the intensively managed, three-cut nitrogen-fertilized variant. Overall, drought caused a decline in species richness in nearly all managed grasslands.

Key words: drought, dry matter production, soil organic carbon, plant diversity, resistance, resilience

Súhrn

Na experimente v Liptovskej Tepličke (990 m n. m.), pozostávajúcom z ôsmich variantov (kontrolný variant a 7 využívaných variantov: kosením, mulčovaním a hnojením), sme sledovali vplyv sucha (v roku 2022) na vybrané parametre trávnych porastov (pôda, produkcia, biodiverzita). Naše výsledky ukázali, že rok 2022, ako rok sucha, mal vplyv na koncentrácie vybraných pôdných parametrov. Pri pôdnom organickom uhlíku a dusíku boli prevažne najnižšie koncentrácie zistené v roku 2022. Sucho spôsobilo zníženie produkcie sušiny vo väčšine porastoch, pričom najnižšia produkcia bola na jednokosnom poraste ($1,42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Extenzívne porasty (nevyužívaný a mulčovaný) vykazovali stabilnú produkciu bez výrazných rozdielov. Tieto porasty mali aj najvyššiu hodnotu rezistencie (nad 0). Najnižšia zaznamenaná hodnota rezistencie ($-0,515$) bola na variante s PK hnojením, čo môže súvisieť s vyšším podielom bôbových druhov, ktoré môžu byť citlivé na dlhodobé sucho. Vyššia resiliencia ($1,061$) bola okrem niektorých extenzívnych porastoch aj na intenzívnom trojkosnom variante hnojenom dusíkom. Sucho spôsobilo pokles počtu druhov takmer vo všetkých využívaných trávnych porastoch.

Klíčové slová: sucho, produkcia sušiny, pôdny organický uhlík, diverzita rastlín, rezistencia, resiliencia

ÚVOD

Trávinno-bylinné porasty patria spolu s lesmi ku krajinným zložkám, ktoré majú významný stabilizačný potenciál. Okrem dôležitých ekologických funkcií (vodoochranná, pôdoochranná, krajínovotvorná a estetická), sú aj dôležitým zdrojom biodiverzity, a to tak na úrovni druhov, ako aj spoločenstiev. Podstatnou funkciou trávnych porastov je aj funkcia produkčná. Keďže je trávny porast viazaný aj na pôdne prostredie a je tiež životným priestorom mnohých mikroorganizmov a živočíchov na danom abiotickom základe, môžeme ho definovať tiež ako geobiocenózu. Pokiaľ máme na mysli sústavu vzťahov medzi jednotlivými zložkami, približuje sa pojmu ekosystém /23/. Rozmanitosť, štruktúra a zloženie ekologických spoločenstiev môže byť formované niekoľkými faktormi. Rastlinné spoločenstvá sú štruktúrované najmä abiotickými faktormi a lokálnymi biotickými interakciami v priestore a čase /19/. Z lokálneho hľadiska môžu abiotické faktory súvisiace s pôdou alebo topografiou ovplyvniť druhovú diverzitu prostredníctvom dostupnosti zdrojov /3, 7/. Subsystem klimatologických faktorov, ako podstatná súčasť abiotickej zložky trávnych porastov, patrí medzi rozhodujúci pre fungovanie ich produkčných ale aj mimoprodukčných funkcií. Suchá sú všeobecne známe ako jedna z najvýznamnejších extrémnych klimatických udalostí s rôznymi vplyvmi, okrem iného aj na prírodné ekosystémy /21, 30/. Najmä extrémne suchá mali niektoré z najzávažnejších dopadov na suchozemskú vegetáciu, čo viedlo k rozsiahlemu zníženiu produktivity vegetácie a spomaleniu rastu /24, 12/. Atmosférické zrážky, ako ekologický faktor ovplyvňujúci úrodu trávnych porastov, sa neuplatňujú len svojím množstvom (ročným úhrnom), ale aj rozdelením v priebehu vegetácie /20/. Produktivita fytomasy a jej stabilita je podľa /9/ v pozitívnej korelácii s druhovou diverzitou, čo znamená, že časová variabilita produktivity je nižšia pri spoločenstvách druhovo bohatých, oproti spoločenstvám s nižšou diverzitou. Vyššia diverzita rastlinných druhov v trávnych porastoch vedie teda k nárastu primárnej produkcie /8, 31/, vyššej stabilite pri narušení /27, 8/, znižuje úspešnosť invázie nepôvodných druhov /26, 17/ a prispieva k lepšiemu využívaniu a uchovávaní živín /22, 18/. Vyššia diverzita druhov v trávnom poraste indikuje tiež odolnosť ekosystému voči suchu /27, 1, 13/. V posledných dekádach sa sucho vyskytuje častejšie aj v klimatických podmienkach mierneho pásma /10/, pričom jeho následky sa prejavujú v čoraz väčšej miere aj v regiónoch, kde sa doteraz výrazne neprejavovalo. Rok 2022 sa na Slovensku zapísal ako extrémne suchý, s dlhým trvaním a rozsiahlym dopadom aj na rastlinnú výrobu, vrátane trávinno-bylinných fytocenóz.

V príspevku sa zaoberáme vplyvom sucha, ktoré bolo zaznamenané v roku 2022, na vybrané parametre (pôda, produkcia, diverzita rastlinných druhov) rôzne využívaného trávneho porastu.

MATERIÁL A METÓDA

Experimentálne práce boli realizované na zrevitalizovanom trávnom poraste (technológiou kosenia a mulčovania) na stanovišti v Liptovskej Tepličke (990 m n. m.; GPS: N 48.92543, E 20.14078). Pokus bol založený metódou dlhých pásov v troch opakovaniach v roku 2013. V rokoch 2021, 2022 a 2023 (roky ktoré hodnotíme v príspevku) pokračovali

experimentálne práce na porastoch s konštantným variantným prevedení (7 využívaných variantov + 1 kontrolný variant, bez zásahov), pozostávajúcom z kosenia, mulčovania a aplikácie minerálnych hnojív - NPK, v rôznych kombináciách. Podrobný variantný dizajn je uvedený v tabuľke 1.

Tab. 1: Variantné prevedenie pokusu

Varianty	Pratotechnické zásahy
1	Nevyužívaná kontrola
2	Jedna kosba
3	Dve kosby (hnojenie PK)
4	Dve kosby
5	Mulčovanie raz za rok
6	Dve kosby (hnojenie PK + N 45)
7	Dve kosby (hnojenie PK + N 90)
8	Tri kosby (hnojenie PK + N 90)

Kosba bola pri jednokosnom variante vykonaná pri maximálnej akumulácii nadzemnej fytomasy. V tomto termíne sa zisťovala produkcia fytomasy aj z mulčovaného a nevyužívaného porastu. Pri viackosných variantoch bol termín prvej kosby vo fáze začiatku klasenia a plného klasenia prevládajúcich druhov tráv v poraste. Pri dvojkosnom využití nasledovala druhá a tretia kosba v intervaloch cca 40 až 45 dní. Termíny kosieb a aj hnojenia sa bližšie stanovovali podľa aktuálneho stavu porastov, z hľadiska fenofázy a nárastu fytomasy. Produkčná schopnosť porastov sa zisťovala úrodou sušiny ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) pri každom využití. Floristické zloženie porastov bolo určované metódou redukovanej projektívnej dominancie, pred každým pratotechnickým zásahom. Pôdne vzorky na stanovenie základných agrochemických parametrov sa odoberali v každom roku v jesennom období. Z hľadiska stability trávnych porastov a ich schopnosti reagovať na suchu, sme vo vzťahu k ich produkcii nadzemnej fytomasy vypočítali hodnoty rezistencie a resiliencie, podľa vzťahov uvedených v prácach /27/ a /1/. Na štatistické vyhodnotenie vybraných parametrov sme použili software STATIT QC.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priebeh meteorologických ukazovateľov (T, R) v roku sucha 2022 na stanovišti v Liptovskej Tepličke, priemerná denná teplota a úhrn zrážok v jednotlivých mesiacoch v priemere rokov 2016-2020, spolu s odchýlkami od priemerných hodnôt sú uvedené v tabuľke 2.

Rok 2022, v porovnaní s priemernými hodnotami za roky 2016 – 2020 pri oboch sledovaných meteo ukazovateľoch zaostával. V priemere bola zaznamenaná nižšia denná teplota, ale najmä pokles úhrnu zrážok (tab. 2). Ich deficit sa prejavil už na konci zimy a začiatku jari, ale najmä počas vegetačného obdobia, a to v mesiacoch máj (-27,2 mm), jún (-31,6 mm) a júl (-36,8 mm). Tento trend následne pokračoval aj v mesiacoch september, október a november. Podľa uvedeného hodnotenia môžeme konštatovať, že rok 2022 bol extrémne suchý, čo sa prejavilo aj v predmetných ekologických a orografických podmienkach.

Tab. 2: Priebeh meteorologických ukazovateľov (T -teploty, R -zrážky) v roku 2022 na stanovišti v Liptovskej Tepličke, priemerná denná teplota a úhrn zrážok v jednotlivých mesiacoch v priemere rokov 2016-2020 a odchýlky od priemeru.

	Obdobie	Mesiac											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T (°C)	Priemer	-5,00	-1,84	0,52	6,25	9,51	14,92	15,01	15,62	10,98	6,40	1,60	-2,4
	2022	-4,53	-1,76	-1,92	2,18	10,03	14,84	14,64	15,91	8,38	7,31	0,71	2,74
	odchýlka	+0,47	+0,08	-2,44	-4,07	+0,52	-0,08	-0,37	+0,29	-2,60	+0,91	-0,89	-0,34
R (mm)	Priemer	18,6	52,7	38,9	64,3	74,8	90,8	101,2	91,3	99,3	81,6	71,6	42,6
	2022	18,6	26,4	12,4	64,8	47,6	59,2	64,4	104,8	81,2	27,2	47,6	44,8
	odchýlka	0,0	-26,3	-26,5	+0,5	-27,2	-31,6	-36,8	+13,5	-18,1	-54,4	-24,0	+2,2

Pri pôdnych parametroch sme hodnotili koncentráciu pôdneho organického uhlíka, dusíka a fosforu. Pri pôdnom organickom uhlíku sme v roku sucha (2022), ale aj v rokoch 2021 a 2023 evidovali vo všetkých meraniach jeho vysoký obsah, čo je pre trávne ekosystémy, vzhľadom na každoročný prísun podzemného a nadzemného rastlinného opadu a prevahy syntetických procesov nad dekompozičnými charakteristické /16/. Obsah tohto parametra bol pri hodnotení medzi jednotlivými rokmi najnižší takmer vo všetkých variantoch (okrem var. 1 a 2) v roku 2022 (tab. 3, tab. 4). Štatisticky preukazné rozdiely boli zaznamenané len pri mulčovanom poraste (medzi rokom 2022 a ostatnými dvoma) ($F = 11,07$; $P = 0,01$) a tiež pri dvojkosnom poraste hnojenom dusíkom (var. 7) ($F = 5,19$; $P = 0,049$), a to medzi rokom 2022 ($44,69 \text{ g.kg}^{-1}$) a rokom 2023 ($59,40 \text{ g.kg}^{-1}$) (tab. 4). Aj pri dusíku v pôdnom profile sme evidovali takmer pri všetkých variantoch najnižšie koncentrácie v roku 2022. Výnimku tvorili var. 1 (nevyužívaný porast), var. 2 (jednokosný porast) a variant 7, kde však boli rozdiely v koncentráciách N medzi rokmi 2022 a 2021 minimálne. Štatistické diferencie boli zaznamenané pri variantoch 2 ($F = 5,50$; $P = 0,044$), 3 ($F = 5,63$; $P = 0,042$) a 8 ($F = 5,77$; $P = 0,040$) (tab. 3, tab. 4). Z hľadiska agronomických kritérií obsahu fosforu v pôde /2/, sme pri všetkých hodnotách evidovali jeho nízke koncentrácie. Podľa /14/ dochádza k odčerpávaniu fosforu, okrem erózných procesov a vylúhovaním, aj dlhodobým odstraňovaním nadzemnej biomasy, a to aj napriek jeho saturácii v pôde formou hnojenia. Na rozdiel od obsahu pôdneho organického uhlíka a dusíka, sme pri fosfore počas troch sledovaných rokov namerali v prevažnej miere jeho najnižšie koncentrácie v roku 2023 (okrem var. 4 a 5), pričom rozdiely v koncentráciách boli vo variantoch 1 ($F = 33,7$; $P < 0,001$), 2 ($F = 23,01$; $P = 0,002$), 3 ($F = 24,5$; $P < 0,001$), 6 ($F = 6,08$; $P = 0,036$) a 8 ($F = 7,13$; $P = 0,026$) aj štatisticky významné. V týchto porastoch sme zároveň zaznamenali pri fosfore v roku sucha 2022 aj jeho najvyššie hodnoty (tab. 3, tab. 4).

Tab. 3: Koncentrácia pôdneho organického uhlíka (C_{ox}) (g.kg^{-1}), N (g.kg^{-1}) a P (mg.kg^{-1}) vo variantoch 1-4 v rokoch 2021-2023

Rok	Variant											
	1.			2.			3.			4.		
	C_{ox}	N	P	C_{ox}	N	P	C_{ox}	N	P	C_{ox}	N	P
2021	51,60	3,13	3,81 ^a	50,40	3,67 ^a	4,37 ^a	56,39	3,32 ^{ab}	6,57 ^a	58,75	3,17	2,61
2022	55,80	3,67	7,04 ^b	65,66	4,96 ^b	6,94 ^b	44,40	3,09 ^a	3,09 ^b	47,63	3,44	3,50
2023	59,68	4,09	2,67 ^a	67,45	4,65 ^{ab}	3,12 ^a	57,30	4,13 ^b	2,62 ^c	54,90	3,68	3,47

Vysvetlivky: rôzne písmená znamenajú, že medzi porovnávanými variantmi sú štatisticky preukazné rozdiely na úrovni $P < 0,05$

Tab. 4: Koncentrácia pôdneho organického uhlíka (C_{ox}) ($g.kg^{-1}$), N ($g.kg^{-1}$) a P ($mg.kg^{-1}$) vo variantoch 5-8 v rokoch 2021-2023

Rok	Variant											
	5.			6.			7.			8.		
	C_{ox}	N	P	C_{ox}	N	P	C_{ox}	N	P	C_{ox}	N	P
2021	56,39 ^a	3,98	3,03	51,60	3,33	4,87 ^a	52,19 ^{ab}	3,57	4,07	53,39	3,62 ^{ab}	3,49 ^{ab}
2022	32,69 ^b	3,34	2,84	43,20	2,96	4,05 ^{ab}	44,69 ^a	3,59	4,23	44,10	3,23 ^a	4,09 ^a
2023	54,29 ^a	3,55	3,04	51,29	3,85	3,26 ^b	59,40 ^b	4,34	3,37	54,00	4,35 ^b	2,93 ^b

Vysvetlivky: rôzne písmená znamenajú, že medzi porovnávanými variantmi sú štatisticky preukazné rozdiely na úrovni $P < 0,05$

Pri porovnaní produkcie sušiny v jednotlivých variantoch medzi rokmi (Graf 1), je okrem nevyžívaného (var. 1) a mulčovaného porastu (var. 5) najnižšia zaznamenaná produkcia v roku 2022. Štatistickým hodnotením sme zistili preukazné rozdiely v produkcii medzi rokom sucha a rokom 2021 a 2023 pri všetkých hnojených porastoch, a to var. 3 ($F = 10,1$; $P = 0,012$), 6 ($F = 11,0$; $P = 0,010$), 7 ($F = 15,3$; $P = 0,004$), 8 ($F = 24,1$; $P < 0,001$) a poraste využívanom jednou kosbou vo var. 2 ($F = 11,1$; $P = 0,010$) (tab. 5). Pri dvojkosnom poraste bez hnojenia boli signifikantné diferencie v produkcii len medzi rokom sucha (2022) a rokom 2021 ($F = 18,6$; $P = 0,003$). Frekvencia kosby, hnojenie a intenzita zaťaženia ovplyvňujú závislosť potreby vody pre tvorbu úrod /20/. To mohlo byť dôvodom vyrovnaných úrod počas troch rokov pri extenzívnych porastoch (nevyžívaný a mulčovaný porast) v našom experimente. Produkcia sušiny v týchto variantoch nebola výrazne ovplyvnená suchom a na jej vyrovnanosť počas troch hodnotiacich rokov poukazuje aj absencia štatisticky preukazných rozdielov (tab. 5).

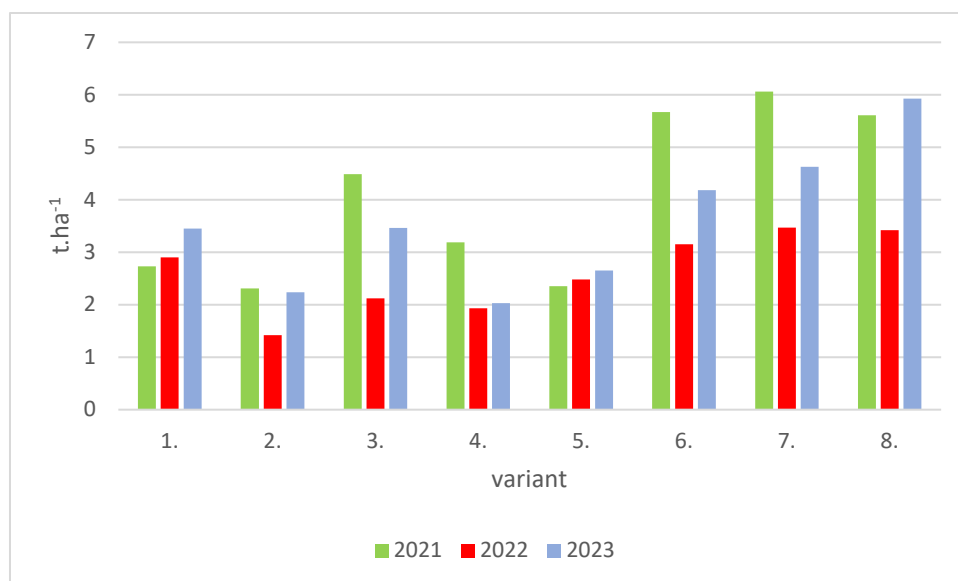
Tab.: 5 Celková ročná produkcia sušiny ($t.ha^{-1}$) vo variantoch 1 – 8 v rokoch 2021-2023

Variant	Variant							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
2021	2,73 ^a	2,31 ^a	4,49 ^a	3,19 ^a	2,35 ^a	5,67 ^a	6,06 ^a	5,61 ^a
2022	2,90 ^a	1,42 ^b	2,12 ^b	1,93 ^b	2,48 ^a	3,15 ^b	3,47 ^b	3,42 ^b
2023	3,45 ^a	2,24 ^a	3,46 ^a	2,03 ^b	2,65 ^a	4,18 ^b	4,63 ^b	5,93 ^a

Vysvetlivky: rôzne písmená znamenajú, že medzi porovnávanými variantmi sú štatisticky preukazné rozdiely na úrovni $P < 0,05$

Pri sumárnom zhodnotení produkcie sušiny v jednotlivých hodnotených rokoch medzi variantmi môžeme konštatovať, že jej výška bola, aj napriek rôznemu priebehu poveternostných ukazovateľov formovaná najmä stupňom intenzifikácie, a to predovšetkým hnojením. Aplikácia minerálnych hnojív, najmä dusíka, je v pozitívnej korelácii s rastom úrod. Táto závislosť je známa z prác viacerých autorov/25, 32, 11/.

Z hľadiska štatistického hodnotenia celkových ročných úrod v roku sucha 2022 ($F = 6,41$; $P = 0,001$), boli zaznamenané preukazné rozdiely ($P < 0,05$) medzi produkciou sušiny $1,93 t.ha^{-1}$ vo variante 4 (s druhou najnižšou produkciou) a variantoch 7 ($3,47 t.ha^{-1}$) a 8 ($3,42 t.ha^{-1}$) (tab. 6). Zároveň boli štatistické diferencie aj medzi variantmi 1 a 2. Štatisticky vysoko preukazné rozdiely ($P < 0,01$) boli zaznamenané medzi najproduktnejšími porastmi vo variantoch 7 a 8 (s najvyššou použitou dávkou N, $90 kg.ha^{-1}$ za rok) a porastom s najnižšou produkciou vo variante 2 ($1,42 t.ha^{-1}$).



Graf 1: Produkcia sušiny (t.ha⁻¹) v jednotlivých variantoch v rokoch 2021 - 2022

Tab. 6: Celková ročná produkcia sušiny (t.ha⁻¹) vo variantoch 1 – 8 v roku 2022

Variant	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Produkcia sušiny	2,90bc	1,42a	2,12ab	1,93ab	2,48b	3,15c	3,47c	3,42c
D $\alpha_{0,05}$ = 0,61 , D $\alpha_{0,01}$ = 0,90								

Vysvetlivky: rôzne písmená znamenajú, že medzi porovnávanými variantmi sú štatisticky preukazné rozdiely na úrovni $P < 0,05$

Produkcii porastov sme hodnotili aj na základe rezistencie a resiliencie, pričom rezistenciu môžeme v tomto prípade chápať ako schopnosť zabrániť zmene v priebehu pôsobenia rušivého faktora, kde meradlom je rozpätie medzi oboma stavmi (v rokoch 2021 a 2022). Resiliencia je číselná hodnota definujúca schopnosť trávneho porastu vysporiadať sa s negatívnym pôsobením prostredia (sucha), s dopadom na produkciu sušiny (pred suchom - rok 2021, po skončení sucha - rok 2023). Výsledky týchto parametrov boli podobné so štatistickým hodnotením produkcie medzi rokmi (tab. 5), pričom pri rezistencii sme najvyššie hodnoty (nad 0) zaznamenali pri porastoch na kontrolnom - nevyužívanom variante 1 (0,098) a variante 5 (0,067), kde bol porast mulčovaný (tab. 7). Porasty v týchto variantoch mali vyššiu schopnosť udržať produkciu fytomasy počas pôsobenia stresového faktora - sucha. Z ostatných, už intenzívnejšie využívaných porastov sme relatívne vyššie, aj keď už záporné hodnoty rezistencie evidovali pri jednokosnom poraste (var. 2; - 0,337) a poraste trojkosnom s aplikáciou NPK (var. 8: - 0,388). Najnižšou úrovňou rezistencie sa vyznačoval porast s dvomi kosbami a aplikáciou PK (var. 3: - 0,515). Hnojenie fosforom a draslíkom zvyšuje podiel bôbových druhov v porastoch /4, 6/, pričom vo var. 3 bola ich prezencia v priemere za tri roky 40%. Aj keď môžu d'atelinoviny prežiť suché obdobia vďaka prispôbeniam, dlhodobé a extrémne sucha môže mať negatívny dopad na ich rast a úrody /28/, pričom po zlepšení dostupnosti vody majú schopnosť rýchlo regenerovať a obnoviť svoj rast /29/. Tieto zistenia môžu korešpondovať aj s nižšou rezistenciou a naopak vyššou resilienciou porastu vo variante 3 (tab. 7).

Pri schopnosti porastov zotaviť sa po narušení, teda ako rýchlo a do akej miery sa produkcia po suchu vráti na pôvodnú úroveň (resiliencia), sme zaznamenali podobné výsledky ako pri rezistencii. Čím je hodnota resiliencie vyššia ako 1, tým rýchlejšie sa dokáže ekosystém vysporiadať s negatívnymi dôsledkami prostredia. Vyššie hodnoty sme evidovali opäť pri nevyužívanom (1,274) a mulčovanom poraste (1,127), pričom hodnotou nad 1 sa prezentoval aj trojkosný porast s najvyššou dávkou dusíka (var. 8 - 1,061) (tab. 7). Trávne porasty hnojené dusíkom sa môžu rýchlejšie zotaviť po suchu, pretože vyššie dávky dusíka zlepšujú ich metabolické procesy a regeneráciu po stresových podmienkach [5]. Relatívne vyššie hodnoty mal jednodkosný porast (var. 2: 0,980) a aj porast s PK hnojením (var. 3: 0,793), pričom rozdiely medzi hnojenými variantmi boli minimálne. Najnižším stupňom resiliencie sa prezentoval porast s dvomi kosbami bez hnojenia (var. 4: 0,640) (tab. 7).

Tab. 7: Rezistencia a resiliencia trávnych porastov na suchu v roku 2022

Variant	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Rezistencia	0,098	-0,377	-0,515	-0,392	0,067	-0,445	-0,430	-0,388
Resiliencia	1,274	0,980	0,793	0,640	1,127	0,734	0,772	1,061

Rezistencia a resiliencia sú bezrozmerné ekologické ukazovatele

Vplyv sucha sme vyhodnocovali aj vo vzťahu k početnosti druhov v jednotlivých variantoch. Takmer vo všetkých porastoch (okrem variantu 4, kde bol počet druhov počas troch rokov konštantný), bol v roku 2022, oproti východzie mu stavu (rok 2021) zaznamenaný nižší počet druhov (tab. 8). Najvyšším poklesom sa prezentoval variant s najintenzívnejším manažmentom (var. 8) a následne dvojkosný porast hnojený PK vo variante 3. Miernejší úbytok druhov bol vo variantoch 5 a 6, ale tiež pri poraste s dvoma kosbami a vyššou dávkou dusíka (var. 7). Podľa [15], zvýšenie konkurencie počas sucha znižuje diverzitu rastlín, pretože niektoré druhy dominujú v suchých podmienkach na úkor iných, menej konkurencieschopných druhov. Po suchu, sa v roku 2023 začala diverzita čiastočne obnovovať, a to najmä vo variantoch 1, 2, 5, 6 a 7. Avšak ani pri týchto porastoch, sa okrem variantu 7, kde sme v treťom roku zaznamenali vyšší počet druhov (44) ako v roku 2021 (43), sa počet druhov nevrátil na pôvodnú úroveň. Vo dvoch hnojených porastoch (var. 3 a 8) bol pokles druhov počas troch nasledujúcich rokov kontinuálny, s najnižšou druhovou diverzitou v roku 2023 (tab. 8).

Tab. 8: Priemerný počet druhov v jednotlivých variantoch v rokoch 2021 - 2023

Variant	1	2	3	4	5	6	7	8
2021	39	39	50	46	42	45	43	52
2022	35	32	42	46	36	39	40	40
2023	37	38	39	46	39	40	44	39

ZÁVER

Rok 2022, charakteristický výrazným suchom, mal preukazný vplyv na vybrané ekologické a produkčné parametre trávnych porastov na experimentálnej ploche v Liptovskej Tepličke. Na základe našich výsledkov sme evidovali pokles koncentrácie niektorých pôdných živín (pôdny organický uhlík, dusík), zníženie úrodu sušiny vo väčšine variantov, ako aj pokles druhovej diverzity. Aplikácia hnojív (najmä dusíka) zvyšuje produkciu sušiny nadzemnej

fytomasy aj počas sucha, čím pomáha udržať relatívne vyššiu úrodu počas extrémnych podmienok. Vyššiu schopnosť udržať produkciu fytomasy počas pôsobenia sucha (rezistencia) mal nevyužívaný a mulčovaný porast, v menšej miere aj porast s jednodukosným manažmentom a trojukosný porast s aplikáciou NPK. Na intenzívne a dlhotrvajúce suchá sú citlivé najmä porasty s vyšším podielom d'atelinovín, čo sa ukázalo aj pri nižšej rezistencii a naopak relatívne vyššej resiliencii porastu vo variante 3. Najvyšším poklesom počtu druhov počas sucha sa prezentoval variant s najintenzívnejším manažmentom (var. 8) a následne dvojukosný porast hnojený PK vo variante 3.

LITERATÚRA

- /1/ Bai, Y.F., Han X.G., Wu J.G., Chen Z.Z., Li L.H.: Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. In : *Nature*, (431) 7005, 2004: 181-183. ISSN 0028-0836.
- /2/ Brázová, M. I.: Agronomická kritéria pre hodnotenie agrochemických rozborov pôd. Bratislava : ÚKSUP, Bratislava, 2018: 12.
- /3/ Cantón, Y., Del Barrio, G., Solé-Benet, A., & Lázaro, R.: Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain. *Catena*. Elsevier BV. (55) 3, 2004: 341 – 365, [http://doi.org/10.1016/s0341-8162\(03\)00108-5](http://doi.org/10.1016/s0341-8162(03)00108-5)
- /4/ Cuelemans, T., Stevens, C. J., et al.: Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands. In : *Global Change Biology*, 12 (20), 2004: 3814–3822.
- /5/ Dale, M. R., et al.: Nitrogen fertilization and drought tolerance in cool-season grasses. *Field Crops Research*, 168, 2014: 91-100.
- /6/ Davidson, E. A., Howarth, R. W.: Nutrient in synergy. In : *Nature*, 449, 2007:1000-1001.
- /7/ Dembicz I, Velez N, Boch S, et al.: Drivers of plant diversity in Bulgarian dry grasslands vary across spatial scales and functional-taxonomic groups. *J Veg Sci.*;32 (1), e12935, 2021: 14 pp.
- /8/ Duffy, J. E., Godwin, C. M., Cardinale, B. J.: Biodiversity effects in the wild are common and as strong as key drivers of productivity. In : *Nature*, (549), 2017: 261-264.
- /9/ Eisenhauer, N., Milcu, A., Allan, E., Nitschke, N., Scherber, C., Temperton, V., Weigelt, A., Weisser, W.W. and Scheu, S.: Impact of above- and below-ground invertebrates on temporal and spatial stability of grassland of different diversity. *Journal of Ecology*, 99, 2011: 572-582. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01783.x>
- /10/ Fendeková, M., Poárová, J., Slivová, V., Eds.: Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja. 1. vydanie. Bratislava, Univerzita Komenského, 2017: 300 s., ISBN 978-80-223-4398-5,
- /11/ Hanzes, E., Britaňák, N., Ilavská, I.: Vplyv revitalizačných zásahov na floristické zloženie a úrodu trávneho porastu. In : GÁLIK, B. Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV, SPU Nitra, 2018: 164–174, ISBN 978-80-552-1921-9.
- /12/ Huang, M. T., X. H. Wang, T. F. Keenan, et al.: Drought timing influences the legacy of tree growth recovery. *Global Change Biol.*, 24, 2018: 3546–3559, doi: 10.1111/gcb.14294.
- /13/ Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Eisenhauer, N.: Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. In : *Nature*, 526 (7574), 2015: 574–577.
- /14/ Izquierdo, J.E., Houlton, B.Z., Van Huysen T.L.: Evidence for progressive phosphorus limitation over long-term ecosystem development: examination of a biogeochemical paradigm. In : *Plant and Soil*, 367 (1–2), 2013:135-147. doi:10.1007/s11104-013-1683-3
- /15/ Knapp, A. K., McCarron, J. K., Seastedt, T. R.: Consequences of variation in precipitation for primary production and species diversity in a semi-arid grassland. *Journal of Ecology*, 96 (5), 2008: 1048-1058.
- /16/ Krajčovič, V.: Poľnohospodárske systémy na báze trávnych porastov v podhorských a horských oblastiach T 95 (N 05-529-921): syntetická záverečná správa. Banská Bystrica : VÚLP, 1995: 200 s.
- /17/ Lembrechts, J.J., Pauchard A., Lenoir J., Nuñez M.A., Geron C., Ven A., Bravo-Monasterio P., Teneb E., Nijs I., Milbau A.: Disturbance is the key to plant invasions in cold environments. In : *PNAS*, (113) 49, 2016: 14061–14066.
- /18/ Loreau, M., Naeem S., Inchausti P.: Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives. Oxford: Oxford University Press, 1st edition, 12, 2002, 12(4), 2002: 610-61.
- /19/ Lortie, C. J., Brooker, R. W., Choler, P., Kikvidze, Z., Michalet, R., Pugnaire, F. I., & Callaway, R. M.: Rethinking plant community theory. *Oikos*, 107(2), 2004: 433-438.
- /20/ Novák, J.: Pásienky, lúky a trávniky. Patria : Prievidza, 2008: 708 s. ISBN 978-80-85674-23-1.

- /21/ Pokhrel, Y., F. Felfelani, Y. Satoh, et al.: Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. *Nat. Climate Change*, 11, 2021: 226–233. doi: 10.1038/s41558-020-00972-w.
- /22/ Reich, P.B., J. Knops, D., Tilman, J., Craine, D., Ellsworth, M., Tjoelker, T., Lee, S., Naeem, D., Wedin, D., Bahaeddin, G., Hendrey, S., Jose, K., Wragg, J., Goth, And W. Bengtson.: Plant diversity enhances ecosystem responses to elevated CO₂ and nitrogen deposition. In : *Nature*, 410, 2001: 809–812.
- /23/ Rychnovská, M.: *Ekologie lúčních porostů*. Praha : Academia, 1985: 292 s.
- /24/ Schwalm, C. R., C. A. Williams, K. Schaefer, et al.: Reduction in carbon uptake during turn of the century drought in western North America. *Nat. Geosci.*, 5, 2012: 551–556. doi: 10.1038/ngeo1529.
- /25/ Simkin, S. M., et al.: Conditional vulnerability of plant diversity to atmospheric nitrogen deposition across the United States. In : *Proceedings of the National Academies of the Sciences*, (113) 15, 2016: 4086–4091.
- /26/ Stohlgren, T.J., Barnett, D.T., Kartesz, J.T.: The rich get richer: Patterns of plant invasions in the United States. In : *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 2003: 11–14.
- /27/ Tilman, G.D., Downing, J.A.: Biodiversity and stability in grasslands. In : *Nature*, 367, 1994: 363–365.
- /28/ Turner, N. C., Wright, G. C.: Legumes and drought: A complex balance between drought avoidance and drought tolerance. *Field Crops Research*, 165, 2014: 1–10.
- /29/ Vadez, V., et al.: Drought adaptation in legumes: Agronomic strategies to reduce water deficits in the field and greenhouse. *Field Crops Research*, 132, 2012: 95–104.
- /30/ Vogt, J. V., W. Erian, R. Pulwarty, et al.: GAR Special Report on Drought 2021 (United Nations). United Nations Office for Disaster Risk Reduction. 2021: 210. <https://www.undrr.org/publication/gar-special-report-drought-2021>.
- /31/ Wang, Y., Cadotte, M. W., Chen, Y., Fraser, L. H., Zhang, Y., Huang, G., Luo S., Shi, N., Loreau, M.: Global evidence of positive biodiversity effects on spatial ecosystem stability in natural grasslands. In : *Nature Communications*, (10) 1: e3207, 2019: 9.
- /32/ Zhang, X.: Biogeochemistry: A plan for efficient use of nitrogen fertilizers. In : *Nature*, 543, 2017: 322–323.

Pod'akovanie

Tento príspevok je financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č.19R01-18-P01-00001.

ELUCIDATING THE ROLE OF LIGNANS IN ENHANCING CROP ADAPTATION TO ABIOTIC STRESS THROUGH IN VITRO ELICITATION FOLLOWED BY BIOCHEMICAL ANALYSES

OBJASNĚNÍ ROLE LIGNANŮ PRO ZLEPŠOVÁNÍ ADAPTACE PLODIN NA ABIOTICKÝ STRES PROSTŘEDNICTVÍM IN VITRO INDUKCE NÁSLEDOVANÉ BIOCHEMICKÝMI ANALÝZAMI

Moumita Roy Chowdhury¹, Mizgin Mehmet², Veronika Štefúnová¹,
Eva Ivanišová³, Katarína Ražná¹

¹ Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Agrobiological and Food Resources, Institute of Plant and Environmental Sciences, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, moumita.chowdhury@uniag.sk, veronika.stefunova@uniag.sk, katarina.razna@uniag.sk

² Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, 35100 Bornova, Izmir, Türkiye, mehmetmizgin36@gmail.com

³ Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Institute of Food Sciences, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, eva.ivanisova@uniag.sk

Summary

In vitro elicitation is an effective approach to stimulate the biosynthesis of plant specialized metabolites. Elicitors are substances that trigger the production of these metabolites, which help protect plants under stress. Flaxseed, the richest source of lignans, shows de novo lignan synthesis following environmental stress. Understanding lignans' biological roles is essential for evaluating their defensive potential and developing strategies to mitigate environmental changes. Through this study we established and verified the *in vitro* elicitation protocol for the application of chitosan (CTS). This study evaluated eco-friendly citric acid (CA) as a solvent for CTS to replace acetic acid in agar-based media. CTS from shrimp shells and ChiProPlant® at 0.1% and 1.0% were tested for solubility in 1% and 3% CA, and the optimal solution was used to elicit the lignan-rich flax genotype Agram *in vitro*. Compared to the control variant, an increased polyphenol content was observed under the influence of 0.1% CTS. The other analyzed parameters were not elevated compared to the control sample. However, an increase in antioxidant activity, flavonoid content and phenolic acids was observed in favour of the higher applied CTS concentration between 0.1% and 1.0% indicating a potential protective role of lignans.

Key words: abiotic stress, flax, chitosan, elicitation in vitro, antioxidant analysis

Súhrn

In vitro indukce je účinný přístup ke stimulaci biosyntézy specializovaných metabolitů rostlin. Induktory jsou látky, které spouštějí produkci těchto metabolitů, které pomáhají chránit rostliny vystavené stresu. Lněné semínko, nejbohatší zdroj lignanů, vykazuje de novo syntézu lignanů po vystavení environmentálnímu stresu. Porozumění biologické roli lignanů je nezbytné pro hodnocení jejich obranného potenciálu a vývoj strategií ke zmírnění environmentálních změn. Prostřednictvím této studie jsme stanovili a ověřili protokol *in vitro* elicitation pro aplikaci chitosanu (CTS). Tato studie hodnotila ekologickou kyselinu citronovou (CA) jako rozpouštědlo pro CTS, které nahrazuje kyselinu octovou v agarových médiích. CTS z

kreteťových krunýřů a ChiProPlant® v koncentracích 0,1 % a 1,0 % byly testovány na rozpustnost v 1% a 3% CA a optimální roztok byl použit k vyvolání lignanem bohatého genotypu lnu Agram *in vitro*. Ve srovnání s kontrolní variantou byl pod vlivem 0,1% CTS pozorován zvýšený obsah polyfenolů. Ostatní analyzované parametry nebyly ve srovnání s kontrolním vzorkem zvýšené. Bylo však pozorováno zvýšení antioxidační aktivity, obsahu flavonoidů a fenolových kyselin ve prospěch vyšší aplikované koncentrace CTS mezi 0,1 % a 1,0 %, což naznačuje potenciální ochrannou roli lignanů.

Klíčové slova: abiotický stres, len, chitosan, vyvolání in vitro, analýza antioxidantů

INTRODUCTION

As sessile organisms, plants are continually challenged by abiotic stresses such as flooding, salinity, extreme temperatures, drought, heavy metal toxicity, and nutrient deficiencies [1]. These factors impair growth, destabilize the genome, and ultimately reduce yield [2,3]. Mitigation strategies include breeding stress-tolerant cultivars, applying plant growth regulators and osmoprotectants, optimizing nutrient management, inoculating with arbuscular mycorrhizal fungi, seed priming, and grafting [4]. Among these, elicitation is a method that stimulates the production of plant secondary metabolites (PSMs) has attracted considerable interest for its potential to strengthen plant resilience under abiotic stress conditions [5]. Given the established functions of PSMs like flavonoids, alkaloids in abiotic stress responses [6], elicitation offers a promising approach to enhance plant defense and metabolic capacity. In plant tissue culture, elicitation involves addition of elicitors at low concentrations to the growth medium under *in vitro* conditions for triggering a stress response and enhanced production of PSMs. Elicitors, classified as abiotic or biotic, are molecules that induce defensive and stress-related responses in plants [7]. Chitosan (CTS), an N-deacetylated derivative of chitin composed of β -(1 $\rightarrow$ 4)-linked 2-amino-2-deoxy- β -D-glucopyranose units [8], has emerged as a biotic elicitor with dual roles in promoting growth and enhancing stress tolerance [9,10]. It enhances the resistance of various crops to multiple abiotic stresses by modulating signaling pathways, such as lipid peroxidation, and regulating the expression of genes, including those encoding antioxidant enzymes, octadecanoid-derivative responsive AP2-domain genes, mitogen-activated protein kinases, and geissoschizine synthase [9]. Flax (*Linum usitatissimum* L.), or linseed, is an annual crop valued for its oil, fiber, and nutritional compounds, with diverse applications in functional foods, dietary supplements, and skincare formulations [11]. Flaxseed is a major source of essential omega-3 fatty acids, particularly α -linolenic and linoleic acids along with high-quality proteins, lignans, lipids, and dietary fiber [12]. Flaxseed contains lignans including secoisolariciresinol, matairesinol, pinoresinol, medioresinol, syringaresinol, sesamin, and lariciresinol, which are recognized for their wide range of therapeutic activities including antioxidant, anti-inflammatory, anti-cancer, and antimicrobial effects [13]. Given the well-documented role of elicitors in activating stress-responsive pathways, this study investigated the *in vitro* elicitation potential of CTS, an area still lacking comprehensive research. The efficacy of CTS depends on factors such as origin, molecular weight, solubility, degree of deacetylation, and purity, though these parameters are often incompletely reported. A key objective was to identify an eco-friendly, non-toxic solvent of suitable concentration to replace the commonly used acetic acid in agar-based media. CTS

from shrimp shells (flakes) and ChiProPlant® (powder) at 0.1% and 1.0% concentrations was tested for solubility in 1% and 3% molecular and food-grade citric acid (CA). After determining optimal CTS solubility in CA, the oily flax genotype Agram (containing 6248 mg/kg SECO) [14], was subjected to *in vitro* elicitation, followed by analysis of total polyphenols, flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity. Results showed that higher CTS concentrations increased flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity, while lower concentrations elevated total polyphenols including stilbenes and lignans suggesting a potential protective role of lignans. However, the only parameter that differed from the control was the polyphenol content at a CTS concentration of 0.1%.

MATERIALS AND METHODS

Biological material

The oilseed flax variety Agram was grown at the Research Breeding Station Víglaš Pstruša of the The Research Institute of Plant Production in Piešťany (Slovakia), in 2024. Two types of CTS namely shrimp shell-derived (HIMEDIA®, India) CTS flakes and ChiProPlant® (ChiPro GmbH, Germany) powder have been used. Two types of CA have been tested, molecular gradient and food grade type (Thymos Ltd. Veľká Lomnica, Slovakia).

Preparation of CTS solution

At first, 1% and 3% CA have been prepared by diluting 1 gram and 3 grams of molecular grade and food grade CA respectively in 100 ml distilled water. Subsequently, 0.1 and 1 mg of both types of tested chitosan (CTS flakes and ChiProPlant) were added to 100 ml of solvent. Mixture with ChiProPlant powder got dissolved by use of magnetic stirrer, however CTS flakes from shrimp shells needed to be dissolved in magnetic stirrer at 70°C. In 1% CA, 0.1% and 1% CTS flakes got dissolved in one and 2 hours respectively, while for the 3% CA also the timimng was almost same. CTS solutions of 1% food grade CA are shown in Figure 1.

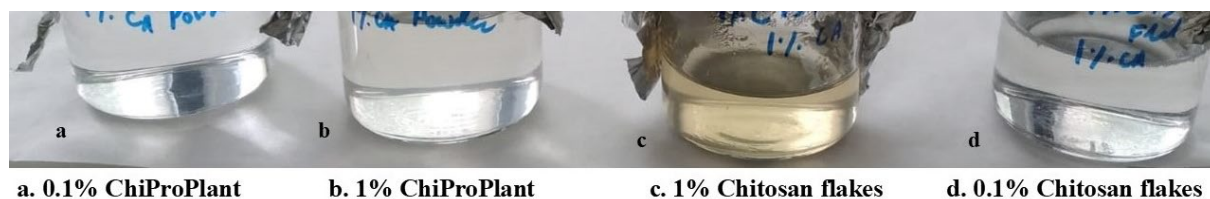


Figure 1: 0.1% and 1% of CTS flakes from shrimp cells and ChiProPlant dissolved in 1% food grade citric acid solution

MS media preparation

Murashige and Skoog Basal Medium (Sigma-Aldrich, Inc.) was prepared in a volume of 1 l of distilled water using 4 g of powder. Consequently, 1 mg/ml and 10 mg/ml of CTS in 1% food grade CA was prepared and 1 ml of these two CTS solutions have been added to the MS media before autoclaving. The pH of the MS media containing 0.1% and 1% CTS solutions was 4.53 and 4.50, respectively, and was subsequently adjusted to 5.6–5.8 by 1M sodium hydroxide.

Seed sterilization and growth condition

First the seeds were rinsed in distilled water and surface sterilized with 70% ethanol (molecular grade) for 5 minutes. Then the seeds were surface sterilized with 10% sodium hypochlorite with 3 drops of Tween20 added. Finally, the seeds were washed three times with sterile distilled water for 5 minutes and the sterilized seeds have been placed on the MS media. Growth of the seedlings was maintained in plant growth chamber for two weeks with photoperiod of 16/8 hours with 60% relative humidity. For day-time conditions, the temperature was kept at 22°C and for the night-time conditions temperature was set at 18°C. For each of the three types of media (control, MS+ 0.1% CTS and MS+1% CTS), seeds were placed at least in three separate vessels to ensure that all seedling types were obtained in a minimum of triplicate.

Biochemical analysis

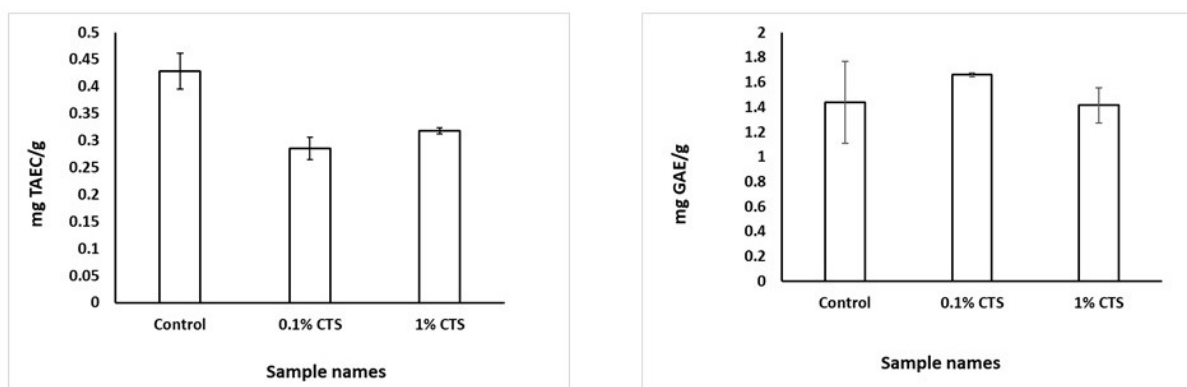
At first 1 gram of each sample (control, 0.1% and 1%) were extracted in 20 ml of 80% ethanol. The extracted solutions were then analyzed separately. For the determination of antioxidant activity, samples were incubated with DPPH in the dark for 10 minutes, and absorbance was measured at 515 nm. Total polyphenol content was assessed by mixing samples with Folin–Ciocalteu reagent, sodium carbonate, and distilled water, followed by a 30-minute incubation in the dark and absorbance measurement at 700 nm. Flavonoid content was determined by mixing the samples with aluminum trichloride, sodium acetate, and distilled water, with absorbance measured at 405 nm. Phenolic acids were quantified by mixing samples with hydrochloric acid, Arnova reagent, sodium hydroxide, and distilled water, and measuring absorbance at 490 nm.

RESULTS AND DISCUSSION

CTS mimics environmental stress under *in vitro* conditions to stimulate PSM production, while elicitor-mediated synthesis ensures consistency, quality, and product uniformity [15]. In this study, we aimed to establish an efficient *in vitro* elicitation protocol for CTS application by optimizing the solvent, solubility, and mode of administration. The methodology for chitosan (CTS) elicitation in plant tissue cultures remains inconsistent, primarily due to variations in CTS origin, molecular weight, and degree of deacetylation—factors that significantly influence its solubility and biological activity [16]. By studying the literature on CTS elicitation in *in vitro* systems revealed substantial gaps, particularly concerning the specification of CTS origin, type, purity level, degree of deacetylation, and the protocols used for its application in elicitation studies [15,17–20].

Given the potential inhibitory effects of both widely used acetic acid and molecular-grade CA on plant growth, food-grade CA was ultimately employed at a lower concentration (1%) which is in accordance with the recent studies [21]. Since previous studies have employed CTS concentrations ranging from 0.5 to 400 mg/L [22] for enhancing PSM production, we opted for the lowest effective concentrations, 1 mg/L (0.1%) and 10 mg/L (1%), to reduce potential phytotoxicity while ensuring elicitation. After two weeks the seedlings were harvested. Seedlings grown in 1% CTS exhibited slightly greater growth than those in 0.1% CTS and the control medium; however, the difference was not significant.

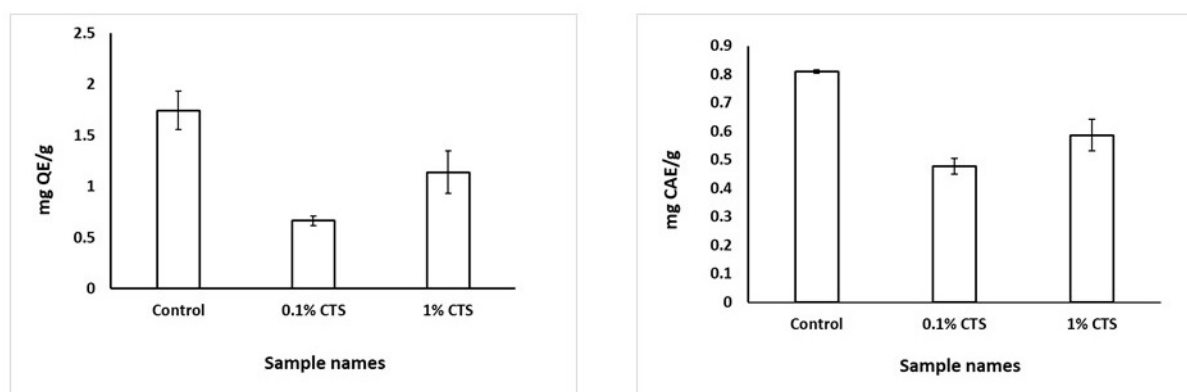
A higher chitosan concentration (1%) in the medium increased the contents of flavonoids and phenolic acids (1.29 mg QE g⁻¹ and 0.63 mg CAE g⁻¹, respectively) as well as antioxidant activity (0.31 mg TAEC g⁻¹). However, the total polyphenol content, which in addition to flavonoids and phenolic acids also includes stilbenes and lignans, was higher in 0.1% chitosan (1.65 mg GAE g⁻¹) than in 1% chitosan (1.52 mg GAE g⁻¹), suggesting a possible protective role of lignans under higher (1%) chitosan concentration. Antioxidant activity and total content of polyphenols are shown in Figure 2 while flavonoids and phenolic acid content are shown in Figure 3. Our preliminary results show that, unlike in other studies, chitosan did not significantly increase antioxidant activity, polyphenol content, or levels of flavonoids and phenolic acids compared to control [23–25]. This may be due to the different ways in which chitosan is prepared and applied, the type of chitosan used, and, of course, the plant species. Despite repeating the antioxidant analyses several times, the results remained consistent. To eliminate any methodological inconsistencies, the elicitation protocol must be applied to flax genotypes with different lignan content, and higher concentrations of chitosan must be tested, or chitosan from different sources must be used [26,27].



a. Antioxidant activity

b. Polyphenols

Figure 2: Antioxidant activity and total content of polyphenols for control, 0.1% and 1% CTS



a. Flavonoids

b. Phenolic acid

Figure 3: Flavonoids and Phenolic acid content for control, 0.1% and 1% CTS

CONCLUSION

The low-cost production of chitosan (CTS) from crustaceans exemplifies a zero-waste approach. Owing to its unique macromolecular structure and biocompatible, biodegradable, and non-toxic properties, CTS is widely applied in agriculture and agrochemistry, presenting significant potential and added value for agrobiotechnology. In this study, we optimized the application of CTS for plant tissue culture elicitation purposes, including its concentration and solubility. Comparing the effect of different concentrations of chitosan (0.1% and 1.0%), it can be concluded that the analysis of antioxidant activity, total polyphenol content, flavonoids, and phenolic acids revealed that higher CTS concentrations enhanced flavonoid and phenolic acid levels as well as antioxidant activity, whereas lower concentrations increased total polyphenols, including stilbenes and lignans. However, the only parameter that differed from the control was the polyphenol content at a CTS concentration of 0.1%.

REFERENCES

- /1/ Zhang, H.; Zhao, Y.; Zhu, J.-K. Thriving under Stress: How Plants Balance Growth and the stress Response. *Developmental Cell* 2020, 55, 529–543,
- /2/ Roy Chowdhury, M.; Basak, J. Tiny Yet Indispensable Plant MicroRNAs Are Worth to Explore as Key Components for Combating Genotoxic Stresses. *Front. Plant Sci.* 2019, 10
- /3/ Wu, Y.; Liu, J.; Zhao, L.; Wu, H.; Zhu, Y.; Ahmad, I.; Zhou, G. Abiotic Stress Responses in Crop Plants: A Multi-Scale Approach. *Journal of Integrative Agriculture* 2024,
- /4/ Oyebamiji, Y.O.; Adigun, B.A.; Shamsudin, N.A.A.; Ikmal, A.M.; Salisu, M.A.; Malike, F.A.; Lateef, A.A. Recent Advancements in Mitigating Abiotic Stresses in Crops. *Horticulturae* 2024, 10, 156.
- /5/ Thakur, M.; Bhattacharya, S.; Khosla, P.K.; Puri, S. Improving Production of Plant Secondary Metabolites through Biotic and Abiotic Elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 2019, 12, 1–12,
- /6/ Salam, U.; Ullah, S.; Tang, Z.-H.; Elateeq, A.A.; Khan, Y.; Khan, J.; Khan, A.; Ali, S. Plant Metabolomics: An Overview of the Role of Primary and Secondary Metabolites against Different Environmental Stress Factors. *Life* 2023, 13, 706
- /7/ Radman, R.; Saez, T.; Bucke, C.; Keshavarz, T. Elicitation of Plants and Microbial Cell Systems. *Biotechnol Appl Biochem* 2003, 37, 91–102
- /8/ Islam, S.; Bhuiyan, M.A.R.; Islam, M.N. Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications in Biomedical Engineering. *J Polym Environ* 2017, 25, 854–866,
- /9/ Rojas-Pirela, M.; Carillo, P.; Lárez-Velásquez, C.; Romanazzi, G. Effects of Chitosan on Plant Growth under Stress Conditions: Similarities with Plant Growth Promoting Bacteria. *Front. Plant Sci.* 2024, 15
- /10/ Almeida, L.G.; Silva, E.M.D.; Magalhães, P.C.; Karam, D.; Reis, C.O.D.; Júnior, C.C.G.; Marques, D.M. Root system in maize plants cultivated under water deficit and application of chitosan. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo.* 2020, 19, 11–11.
- /11/ Mueed, A.; Shibli, S.; Korma, S.A.; Madjirebaye, P.; Esatbeyoglu, T.; Deng, Z. Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes. *Foods* 2022, 11, 3307, doi:10.3390/foods11203307.

- /12/ Zhu, D.; Han, J.; Liu, C.; Zhang, J.; Qi, Y. Modeling of Flaxseed Protein, Oil Content, Linoleic Acid, and Lignan Content Prediction Based on Hyperspectral Imaging. *Front. Plant Sci.* 2024, 15.
- /13/ Jang, W.Y.; Kim, M.-Y.; Cho, J.Y. Antioxidant, Anti-Inflammatory, Anti-Menopausal, and Anti-Cancer Effects of Lignans and Their Metabolites. *International Journal of Molecular Sciences* 2022, 23, 15482.
- /14/ Lenártová, P.; Gažarová, M.; Kopčecová, J.; Mrázová, J. Effect of Crushed Flaxseed Consumption on Cardiovascular Risk Indicators in Menopausal Women. *Life (Basel)* 2024, 14, 849.
- /15/ Kousalya, L.; Seethapathy, P.; Pandita, D.; Packiaraj, S.; Venkatesh, S.; Sankaralingam, S.; Arunkumar, M.; Harinathan, B.; Pandita, A.; Casini, R.; et al. Chitosan (CTS) Induced Secondary Metabolite Production in *Canscora Decussata* Schult. - An Endangered Medicinal Plant. *Kuwait Journal of Science* 2025, 52, 100306,
- /16/ Román-Doval, R.; Torres-Arellanes, S.P.; Tenorio-Barajas, A.Y.; Gómez-Sánchez, A.; Valencia-Lazcano, A.A. Chitosan: Properties and Its Application in Agriculture in Context of Molecular Weight. *Polymers* 2023, 15, 2867.
- /17/ Safana, H.S.; Majid Abdulhameed, I.; Abdulkareem Mohammed, A. Impact of Chitosan and Benzyl Adenine on Shoot Multiplication of Kumquat Plant (*Citrus Japonica* Thumb.) in Vitro. *Int. J. Agricult. Stat. Sci.* 2022, 18, 359–365.
- /18/ Al-Saedi, A.A.R.; Al-Rekaby, L.S. Effect of Growth Regulators and Chitosan on the Production of Callus Biomass and Active Compounds of Rosemary in Vitro. *Connect Journals* 2022, 18, 805–812.
- /19/ Ikhlef, A.; Ait-Amar, H.; Khelifi, L.; Chemat, S. Optimization of Silybin Production from *Silybum Marianum* Tissue Cell Cultures Using Different Elicitor Solutions. *Journal of Food Processing and Preservation* 2022, 46, e16491.
- /20/ Tang, C.-N.; Dhilia Udie Lamasudin; Wan Muhamad Asrul Nizam Wan Abdullah; Chew, L.M.; Chiew, M.-S.; Chai, Q.-Y.; Janna Ong-Abdullah; Lai, K.-S. Enhanced in Vitro Shoot Regeneration and Biochemical Properties of *Stevia Rebaudiana* Using Chitosan. *Sains Malaysiana* 2021, 50, 667–676.
- /21/ Sharmin, N.; Rosnes, J.T.; Prabhu, L.; Böcker, U.; Sivertsvik, M. Effect of Citric Acid Cross Linking on the Mechanical, Rheological and Barrier Properties of Chitosan. *Molecules* 2022, 27, 5118.
- /22/ Stasińska-Jakubas, M.; Hawrylak-Nowak, B. Protective, Biostimulating, and Eliciting Effects of Chitosan and Its Derivatives on Crop Plants. *Molecules* 2022, 27, 2801.
- /23/ Coelho, N.; Romano, A. Impact of Chitosan on Plant Tissue Culture: Recent Applications. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 2022, 148, 1–13.
- /24/ El Amerany, F.; Rhazi, M.; Balcke, G.; Wahbi, S.; Meddich, A.; Taourirte, M.; Hause, B. The Effect of Chitosan on Plant Physiology, Wound Response, and Fruit Quality of Tomato. *Polymers* 2022, 14, 5006.
- /25/ Mukarram, M.; Ali, J.; Dadkhah-Aghdash, H.; Kurjak, D.; Kačík, F.; Ďurkovič, J. Chitosan-Induced Biotic Stress Tolerance and Crosstalk with Phytohormones, Antioxidants, and Other Signalling Molecules. *Front. Plant Sci.* 2023, 14.

- /26/ Żukiewicz-Sobczak, W.; Sobczak, P.; Zawislak, K.; Zagorski, J.; Wojtyła-Buciora, P.; Wojtyła, A. Physical and Chemical Properties Comparison of Fungal and Crustaceous Chitosan. *J Health Inequal* 2015, *1*, 7–14.
- /27/ Kumari, S.; Kumar Annamareddy, S.H.; Abanti, S.; Kumar Rath, P. Physicochemical Properties and Characterization of Chitosan Synthesized from Fish Scales, Crab and Shrimp Shells. *International Journal of Biological Macromolecules* 2017, *104*, 1697–1705

Acknowledgment

“Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V04-00346.”

VLIV ROSTLINNÝCH BIOSTIMULANTŮ ALBIT, ALTERA A ELSE NA VITALITU A VÝNOS RÉVY VINNÉ

THE EFFECT OF PLANT BIOSTIMULANTS ALBIT, ALTERA AND ELSE ON THE VITALITY AND YIELD OF GRAPEVINES

Radek Sotolář¹, Jaroslav Šuldes¹, Oldřiška Sotolářová², Andrej Novik³

¹Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická
337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

²Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav zelinářství a květinářství, Valtická
337, 691 44 Lednice, oldriska.sotolarova@mendelu.cz

³Mayline Investment Corporation Limited, s.r.o., Bílkova 855/19, 110 00 Praha 1,
info@albitcz.eu

Summary

The study was focused on evaluating the effect of the plant protection auxiliaries Albit, Altera and Else on the vitality and yield characteristics of the Riesling variety. The tested biostimulants were applied foliarly in 2024, 5 times during the vegetation period, each time with an interval of three weeks. The aim was to verify the increase in plant resistance (strengthening immunity and stimulating growth even in stressful conditions) using yield parameters and vitality (expressed by the Ravaz index - RI). All tested biostimulants achieved higher RI and yield values than the control variant.

Key words: Biostimulant, Ravaz index (RI – balance of growth and fertility), Fertility index (FI – shoot fruitfulness), yield, vitality

Souhrn

Studie byla zaměřena na hodnocení vlivu pomocných přípravků na ochranu rostlin Albit, Altera a Else pro vitalitu a výnosové charakteristiky u odrůdy Ryzlink rýnský. Přípravky byly aplikovány v roce 2024 foliárně 5x v době vegetace, vždy s odstupem třech týdnů. Cílem bylo ověřit zvýšení odolnosti rostlin (posílení imunity a stimulace růstu i ve stresových podmínkách) pomocí výnosových parametrů a vitality (vyjádřenou Ravazovým indexem - RI). Všechny testované biostimulanty dosáhly vyšší hodnoty RI i výnosu než varianta kontrolní.

Klíčová slova: Biostimulant, Ravazův index (RI), Index (koeficient) plodnosti (FI), výnos, vitalita

ÚVOD

Výživa vinice je každoroční operací, nejčastěji však pomocí umělých hnojiv jako je NPK, Cererit, aj. Nicméně neméně důležité je i hnojení organickými hnojivy (nejčastěji jednou za 4-5 let), zejména chlévským hnojem. Ovšem objem živočišné výroby se snižuje, jeho cena tak roste (včetně dopravy), a proto se v praxi uplatňují i další alternativy. Jde zejména o různé produkty na bázi kompostů. Nemalé zastoupení mají na trhu však i různé foliární přípravky s různým obsahem prvků (podpora výživy) a různé pomocné přípravky – biostimulanty, případně jejich kombinace /1, 2/. V současné době dochází ve všech směrech zemědělství ke

snižování negativních dopadů na životní prostředí, kde právě často přehlíženým aspektem je negativní dopad agrotechnických zásahů, jako jsou intenzivní chemické ošetření, na klíčové ekofyziologické vlastnosti rostlin, symbióza s mykorhizními houbami a endofytickými mikroorganismy. Řešením pro nové udržitelné systémy produkce plodin může být právě použití ekologicky šetrných rostlinných biostimulantů /3, 4/.

Biostimulanty jsou biologicky aktivní látky odvozené z přírodních nebo odpadních materiálů. Mohou podporovat růst rostlin a/nebo zvyšovat obranyschopnost rostlin proti různým stresovým faktorům. Zvláštností biostimulantů je, že neobsahují vysoké procento účinných látek, takže je nelze považovat za typická hnojiva ani za prostředky na ochranu rostlin. Účinné složky biostimulantů obvykle ovlivňují metabolismus rostlin a spouštějí v rostlině procesy, které obecně zlepšují její růst a zdraví. Je zajímavé, že u většiny biostimulantů není dosud znám přesný mechanismus účinku, což otevírá mnoho možností pro vědecký výzkum /3/. Rostlinný biostimulant je tedy jakákoli látka nebo mikroorganismus aplikovaný na rostliny s cílem zvýšit účinnost výživy, toleranci vůči abiotickému stresu anebo kvalitativní znaky plodiny, bez ohledu na obsah živin. Rostlinné biostimulanty v širším smyslu označují také komerční produkty obsahující směsi těchto látek nebo mikroorganismů. Mnoho biostimulantů zlepšuje výživu a činí tak bez ohledu na obsah živin /4/.

Existuje tak mnoho kategorií biostimulantů, de facto pomocných látek v zemědělství. Neměly by ovlivňovat hnojiva, ale naopak by měly zvýšit a urychlit proces jejich dostupnosti. Mezi nejoblíbenější patří huminové kyseliny + fulvokyseliny (jsou součástí organické hmoty půdy a vznikají rozkladem rostlinných, živočišných a mikrobiálních zbytků – zvyšují kapacitu kationtové výměny), extrakty z mořských řas (zvyšují odolnost z nedostatku vody v rostlině), směsi hnojné vody + patentované složky (vytváří vhodné podmínky pro růst mikrobů) a prospěšné bakterie a houby (podpora růstu kořenů a tím i příjmu živin) /4, 5/. Bylo prokázáno, že biostimulanty zvyšují účinek mnoha faktorů ovlivňujících růst rostlin, včetně růstu kořenů, jejich průměru, kapacity půdy pro zadržování vody, zvýšené mikrobiální aktivity vedoucí ke zvýšené dostupnosti živin a mnoha dalších. Víme však, že reakce mohou být i velmi variabilní. Záleží totiž na počasí, typu půdy, obsahu organické hmoty, systému obdělávání půdy i střídání plodin /5/.

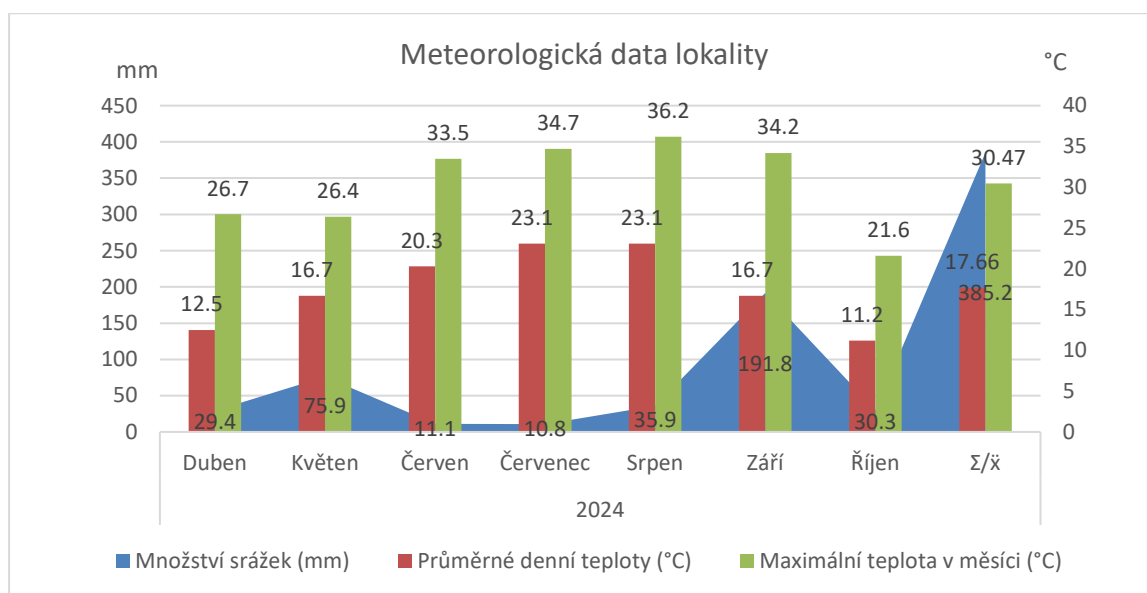
MATERIÁL A METODY

Popis lokality a pokusné vinice

Pokus proběhl na experimentální vinici MENDELU v Lednici (trať Na Valtické: 48.788380, 16.796148), na odrůdě Ryzlink rýnský v roce 2024. Průměrná roční teplota v této lokalitě je 9 °C a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 516,6 mm. Meteorologická data jsou získána z Meteo stanice Mendelea /6/, průměrné teploty a úhrn srážek za vegetační období ukazuje graf 1. Z grafu je patrné poměrně slušné srážkové období na jaře (modrá barva), zejména v měsíci červnu, kdy spadlo 112 mm; a naopak srážkově velmi chudé letní měsíce červenec a srpen + začátek měsíce září (v součtu jen 46,7 mm), kdy se často netvořila ani rosa po ránu. Celkově za vegetační období spadlo jen 385,2 mm srážek, což je pro danou lokalitu v posledních letech průměrná hodnota a ukazuje to na velmi suchou lokalitu. I naměřené průměrné hodnoty teplot v jednotlivých měsících jsou poměrně vysoké. Např. SAT 10 (°C) jen za měsíce březen – srpen vykazuje již hodnotu 2 855,6 (bez září a října!), umožňující zrání i

dosti pozdním odrůdám (v hodnotách nad 2900 dozrávají již odrůdy jako Grenache nebo Shiraz).

Půda je hlinitopísčité s podílem 20–24 % jílovitých částic. Analýza půdy (v hloubce 30 cm) ukázala následující parametry: pH 7,5; N_{min} 18,2 mg · kg⁻¹; P 51,7 mg · kg⁻¹; K 266,8 mg · kg⁻¹; Ca 6687 mg · kg⁻¹ (duben 2021). Obsah vápníku je vskutku vysoký (vápenité podloží), což spolu s horkým a suchým létem vyvolává a zvyšuje stresové prostředí na révové keře. Výsadba byla uskutečněna v roce 2014 ve sponu 2,20 m × 0,9 m (stáří 10 let) na podnoži Kober 125AA. Vedení bylo standardní rýnsko-hesenské s horizontálně vyvázanými tažni (jeden kmínek/jedna tažň). Pokusné řádky byly obhospodařovány v rámci ekologického režimu (ekologické vinohradnictví).



Graf 1: Průměrné + maximální teploty a úhrn srážek za vegetační období (2024) lokality v Lednici

Design pokusu a použité přípravky

Albit je pasivní pomocný prostředek ve formě rozpustného koncentrátu, určený zejména k podpoře zdravotního stavu a k posílení imunity proti širokému spektru houbových chorob. Dále zvyšuje odolnost rostlin vůči abiotickým stresům, podporuje stimulaci růstu a zlepšení kvalitativních vlastností plodin. Jde tedy o rostlinný biostimulátor biologického původu, který snižuje množství hnojiv pro rostliny, působí proti stresu a zvyšuje odolnost rostlin (např. vůči suchu). Napomáhá zlepšení kořenového systému a zvyšuje i zásobu výživných látek v rostlinách /7/.

Altera je biostimulant ve fázi testování, který zvyšuje zejména úrodnost půdy a vytváří rovnováhu mikroorganismů v ní. Má tedy pozitivní vliv na mikrobiální společenstva. Kromě toho stimuluje příjem dusíku rostlinou, dále podporuje transport fosforu a draslíku. Zvyšuje imunitu rostlin /7/.

AlSe je rostlinný biostimulant ve fázi testování, obsahující mimo aminokyselin i anorganické prvky jako selen a jod. Zlepšuje využití živin a zdravotní stav rostlin /7/.

Schéma pokusu ukazuje tabulka 1. Šlo celkem o 4 varianty: Varianta A s přípravkem Albit (proti potlačení stresu a stimulaci růstu); Varianta B s nově testovaným přípravkem Altera

(podpora růstu a úrodnosti); Varianta C s nově testovaným přípravkem AlSe (stimulace růstu a výnosu) a Variantu D představovaly kontrolní keře bez ošetření. Všechny aplikace byly provedeny během vegetačního období (intenzivního růstu letorostů) v termínech dne 15.5./13.6./3.7./24.7./14.8.2024 (cca po 3 týdnech), v dávce 200 ml/ha.

Tabulka 1: Schéma pokusu

Varianty	Odrůda/Dávka	Počet a typ aplikace	Počet keřů
Varianta A - ALBIT	Ryzlink rýnský/200 ml/ha	5x za vegetaci/foliárně	50 ks
Varianta B - ALTERA	Ryzlink rýnský/200 ml/ha	5x za vegetaci/foliárně	50 ks
Varianta C - ALSe	Ryzlink rýnský/200 ml/ha	5x za vegetaci/foliárně	50 ks
Varianta D (kontrolní)	Ryzlink rýnský/ -	bez aplikace	50 ks

Použité metodiky pro stanovení vitality, plodnosti rostlin a výnosů

Rovnováhu mezi plodností a růstem keře v daném roce zjišťujeme pomocí tzv. Ravazova indexu (jedná se o koeficient využitelnosti réví). Tento index představuje obecně poměr reprodukčního oproti vegetativnímu růstu. Vychází z optimálního poměru mezi výnosem, růstem keře a kvalitou hroznů /8, 9/. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr hmotnosti hroznů ku ořezanému réví z jednoho keře (plodnost / řez). *Hmotnost ořezaného réví* představuje informaci nejen o intenzitě růstu keře a tím i jeho vitalitě (pokud je prováděn každoročně konstantně), ale také o kvalitě prováděných zelených prací, architektuře révového keře, výživě a ošetřování půdy ve vinici. *Hmotnost hroznů* sklizených z jednoho keře naopak představuje informaci o plodnosti odrůdy za daných podmínek, která bývá ovlivněna klonem odrůdy, použitou podnoží, výživou keře, teplotami a srážkami během vegetace. Obě tyto informace jsou tedy velmi důležité pro zjištění tzv. „vine balance“, tj. je-li plodnost keře v rovnováze s růstem, což lze vyjádřit právě Ravazovým indexem. Keller /10/ jej nazývá jako zatížení keře sklizní a specifikuje jej jako poměr velikosti sklizně k velikosti révového keře (stanovené jako hmotnost ořezaného réví či velikost listové plochy) a je měřítkem vztahu mezi příjmem a výdajem. Kraus /11/ jej nazývá koeficientem využitelnosti réví. V každém případě je vyjádřený poměr mezi plodností a řezem počáteční ukazatel bilance rovnováhy mezi růstem a plodností mající vliv na vitalitu révového keře, který byl prvně propagován francouzským profesorem vinařství Louisem Ravazem (1863-1937) na počátku 20. století (1903). Optimální hodnoty Ravazova indexu jsou 5-7, a tyto hodnoty představují optimální růst a plodnost révového keře. Vliv na optimální hodnoty indexu má však také tloušťka réví, častější eliminace zálistků a ošechování nebo sama velikost hroznů. Také PIWI odrůdy, tj. více plodné a bujněji rostoucí odrůdy mívají hodnoty obecně vyšší. Za přijatelné je tedy možno považovat i hodnoty 3-10. Hodnoty Ravazova indexu na spodní hranici naznačují keře s nízkou násadou hroznů nebo keře velmi bujně rostoucí, mající velkou listovou plochu v porovnání k výnosu. V tomto případě je vhodné zvýšit zatížení plodností nebo provést zásahy oslabující růst keřů. Hodnoty na horní hranici indexu naznačují vysokou násadu hroznů anebo slabý růst keře. V tomto případě je vhodné

naopak snížit zatížení nebo provádět zásahy vedoucí k podpoře růstu keře – zvýšit listovou plochu. Pozor u mladých keřů v kondici (mají bujnější růst a silnější réví) a obecně u PIWI odrůd (bujnější růst i vyšší plodnost) jsou hodnoty spíše hraniční, tj. akceptovatelné (ještě přijatelné) běžným jevem /2, 12, 13/.

Stupnice Ravazova indexu (či také Koeficient využitelnosti réví): Vysoký = 10,1 a vyšší; akceptovatelný = 8 – 10; **optimální** = 5 – 7; akceptovatelný = 3 – 4,9; nízký = 2,9 a méně /10, 11, 12/.

Ravazův index vhodně doplňuje i tzv. index bujnosti růstu, který vyjadřuje, jak který keř v daném roce rostl. Hodnotí se podle šířky výhonů dole u báze, co nejbližše tažni (nejlépe na podzim po opadu listů). Za normálních okolností (volný růst) je ukazatelem bujnosti růstu délka narostlého réví (hlavního výhonu) za vegetaci, nicméně díky modelaci keře pomocí zelených prací a řezu (zejména osečkování, tj. zkrácení hlavní osy), musíme tento parametr nahradit průměrnou šířkou výhonů (jejich tloušťkou). Bujnost růstu je odvislá od vícero faktorů, především však od volby odrůdy a podnože, vedení a zelených prací (počet letorostů a hroznů na keři) a také od výživy keře a počasí v daném ročníku (zejména průměrné teploty a množství srážek). Mezi silněji rostoucí odrůdy můžeme zařadit PIWI odrůdy (Monarch, Solaris, aj.) nebo standardní odrůdy jako Carmenere, Dornfelder, atd.; slaběji roste například odrůda Cabernet Franc. Obecně také bujněji rostou mladé keře s minimem hroznů, slaběji naopak keře starší s větší násadou plodů /11, 12/.

Stupnice Indexu bujnosti růstu: <0,4 slabší růst; 0,5 – 1 **optimální růst**; >1 silný růst /2, 12/.

Dalším zajímavým ukazatelem je tzv. index (koeficient) plodnosti, který představuje vyjádření plodného (výnosového) potenciálu révového keře v daném roce. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr všech (nejen sklizených) hroznů ku počtu plodných letorostů na keři (počet hroznů / počet letorostů). *Počet letorostů na keři* představuje především asimilační plochu keře a odráží tak informace o agrotechnice (největší vliv má samotné vedení), vitalitě růstu (zahrnuje půdní podmínky, výživu, volbu podnože i klonu, atd.) a prováděných zelených pracích. *Počet hroznů na keři* je ukazatelem zejména odrůdovým (včetně klonů a volby podnoží), ale je také ovlivňován samotným stanovištěm (oslunění keře má vliv na tvorbu květenství v následujícím roce) /11/.

Stupnice Indexu plodnosti: Velmi vysoký = 1,7 – 2,2 (až přes 2 hrozny na letorost); **vysoký** = 1,1 – 1,6; **střední** = 0,6 – 1; nízký = 0,5 a nižší /11, 12/.

Index plodnosti ovšem úplně nesouvisí s výnosem, neboť čím více je hroznů na keři, tím jsou menší (méně hmotné) a celkově tak může být sice více hroznů na keři, tedy velmi vysoký koeficient, ale s hmotností jen kolem 2 kg na keř, čili střední výnos (cca 10 tun/ha). Proto se nejčastěji vyjadřuje čistá plodnost keře množstvím skutečně sklizených hroznů z plochy, čili výnos (je vyjádřen v t/ha). Předpokládaný výnos spočteme jako součin počtu keřů na ploše x hmotnost sklizených hroznů na keři. Výnos tak dosti ovlivňuje množství keřů na hektaru, tedy spon /12/. Skutečný výnos (celková hmotnost skutečně sklizených hroznů) je ovšem v praxi vždy nižší, neboť nikdy nesklízíme všechny hrozny (nesklízíme poškozené hrozny např. houbovými chorobami, něco „sklidí“ špačci, atd.).

Stupnice výnosu: Velmi vysoký = více než 15; **vysoký** = 11 – 15; **střední** = 5 – 10; nízký = méně než 5 /12, 13/.

Je třeba si také uvědomit, že při dnes standardním sponu 220 x 90 cm (cca 5000 ks/ha) bychom neměli mít vyšší výnos než 14 tun z hektaru (tj. max. 3 kg na keř), aby SZPI mohla zatřídit víno (uznat vína ve vyšších jakostních stupních). De facto by mělo platit, že „jeden keř = jedna kvalitní láhev vína“ (tzn. ne více jak 2 kg hroznů na hlavu). Je logické, že jen nepřetěžovaný, optimálně zatížený (nestresovaný) keř, nebude tolik napadán houbovými chorobami a škůdci (nebo se s atakem sám lépe vyrovná) a bude produkovat více kvalitní hrozny (optimální cukernatost vs. kyseliny) /12/.

Použité přístrojové vybavení pro analytická a uvologická měření

Pro analytická data byla využita vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC Shimadzu), kde byl standardním způsobem stanoven obsah zkvasitelných monosacharidů v moštu (glukoza + fruktóza) a konkrétní obsah jednotlivých hlavních kyselin vinného moštu (tj. kyselina vinná, jablečná a citronová). Celkový obsah kyselin v moštu byl stanoven klasicky titračně. Pro určení cukernatosti moštu byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity závěsné digitální váhy a laboratorní digitální váhy značky Kern. Analytická data byla získána dne 30.9.2024, uvologická a výnosová ve dnech 25.9.2024 a 15.11.2024 a vyhodnocena ve dne 22.11.2024.

Statistické vyhodnocení

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byly použity základní statistické metody, jako je ANOVA a Tukeyho test, včetně novější PCA metody (Principal component analysis). Vícerozměrné metody umožňují znázornit a popsat vícerozměrná data, zjišťovat vztahy mezi jednotlivými proměnnými vs danými subjekty; a projekce sledovaných proměnných do faktorové roviny udává také vzájemnou možnou závislost mezi sledovanými proměnnými (komponenty). Pro lepší vizualizaci dat v programu Statistika14 se použila již jen data z 5 keřů s průměrnými hodnotami daného komponentu (znaku).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Sledované naměřené uvologické charakteristiky u jednotlivých variant ukazuje tabulka 2 (nejvyšší hodnoty jsou zvýrazněny tučně). Nejbujnější růst byl zaznamenán u varianty C s přípravkem Alse, konkrétně nejširší šířka výhonů u báze i nejvyšší hmotnost ořezaného réví, včetně nejvyššího počtu hroznů na keřích a výnos. Nicméně předpokládaný výnos zůstal v optimálních hodnotách středního výnosu (tj. >5 - <11 t/ha). Všechny testované varianty svým výnosem předčily variantu kontrolní.

Množství hroznů na keřích bylo u všech variant pro odrůdu Ryzlink rýnský v průměrných hodnotách mezi 13,33 – 15,71 ks (průměrně 14,52) při počtu letorostů 8,33 – 9 ks (průměrně pak 8,67), což jsou při daném vedení a sponu + optimálnímu stáří vinice (10 let) lehce nižší hodnoty, což potvrzuje i hodnota koeficientu plodnosti mezi 1,54 – 1,76 (průměrně tedy 1,65). Koeficient plodnosti bývá u takto mladé vinice v top kondici lehce vyšší okolo 1,7, což představuje cca 1¾ hroznů na letorost /11/. Tento předpoklad splňuje jen varianta C (1,76). Je však nutné připomenout, že testovaná vinice byla vybrána jako stresová lokalita (mráz-sucho-Ca v půdě), a proto dosažené hodnoty testovaných variant nejsou špatné.

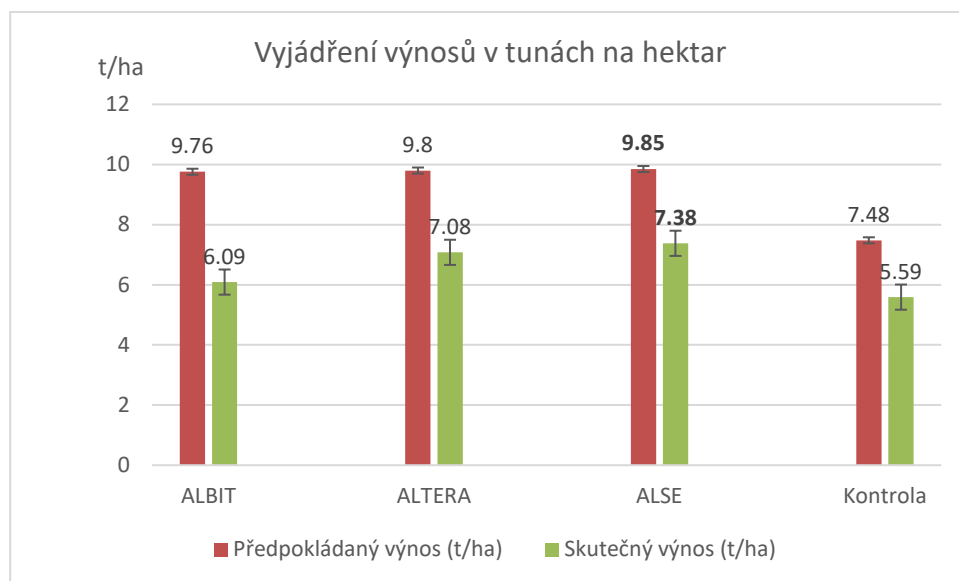
Průměrná hmotnost jednotlivých hroznů byla ve sledovaném roce velmi ovlivněna atakem plísně révové (*Plasmopara viticola*) a pohybovala se mezi 106 – 139 g. Např. Kutina a kol. /14/ však udává prům. hmotnost hroznů jen 109 g. Všechny testované varianty mimo kontrolu, tak dosáhly vyšší hodnoty. Nejhmotnější hrozny i bobule měla varianta A (Albit), nejhmotnější třapiny pak varianta B (Altera). Nejvíce bobulí v hrozně měla opět varianta A.

Tabulka 2: Uvologické charakteristiky

Varianty/Uvologické parametry	Varianta A - Albit	Varianta B - Altera	Varianta C - AlSe	Varinata D - kontrolní
Průměrný počet hroznů na keři (ks)	13,33	14,86	15,71	13,5
Prům. počet letorostů (výhonů) na keř (ks)	8,33	9,0	8,86	8,83
Koeficient plodnosti	1,61	1,66	1,76	1,54
Průměrná hmotnost hroznů na keři (kg)	1,83	1,91	1,99	1,51
Průměrná hmotnost ořezaného réví (kg)	0,41	0,40	0,42	0,39
Ravaz index (Koeficient využitelnosti réví)	4,8	4,95	4,74	3,87
Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,89	0,80	0,91	0,79
Průměrná hmotnost hroznů (g)	138,57	121,08	126,46	106,04
Průměrná hmotnost bobule (g)	2,14	1,91	1,98	1,78
Průměrná hmotnost třapiny (g)	10,09	11,18	9,82	9,15
Průměrný počet bobulí v hrozně (ks)	105,67	100,67	100	95,25
Předpokládaný výnos (t/ha)	9,76	9,80	9,85	7,48
Skutečný výnos (t/ha)	6,09	7,08	7,38	5,59

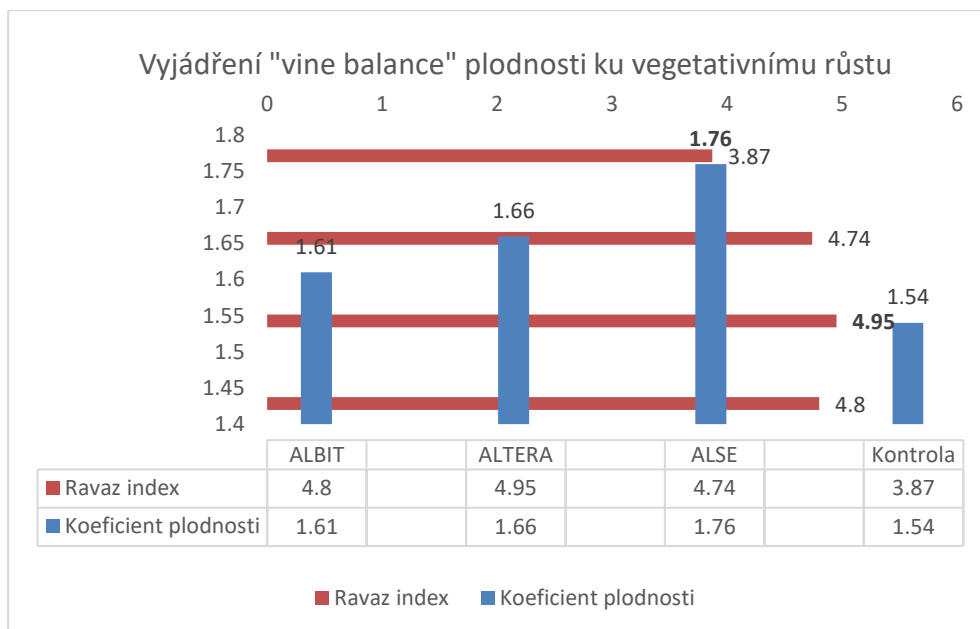
Vitalitu – bilanci mezi růstem a plodností révového keře vyjadřuje Ravazův index. Optimální hodnoty jsou mezi 5-7 /8, 11, 16, 17/. RI se nachází pod optimální hranicí 5-7 patrně díky silnějšímu ataku plísně révové (zejména v červenci), která způsobila napadení bobulí, jejich seschnutí a opad. Následkem toho byla dosti nízká prům. hmotnost zralých hroznů na keři, tj. veličina ovlivňující výpočet RI. Druhá veličina prům. hmotnost ořezaného réví byla také ovlivněna zejména velkými vedry v srpnu, zastavující fotosyntézu a růst keřů (nastal i opad listů spodní části listové stěny). Všechny testované varianty s biostimulanty se pohybovaly těsně pod optimální hranicí (4,74-4,95). Kontrolní varianta měla hodnotu RI 3,9, což sice je

ještě na hranici akceptovatelnosti, ale hodnota značí menší plodnost a intenzivnější růst keřů (graf 3). Vše potvrzuje i nižší výnos 5,59 t/ha.



Graf 2: Grafické vyjádření výnosů sledovaných variant v tunách na hektar

Testované varianty měly začátkem deštivého měsíce září intenzivnější růst fazochů a tvořily nahoře listové plochy nárůst zelené hmoty, což mělo za následek vyšší výkon fotosyntézy a transportu cukrů do hroznů (kontrola měla nárůst již většinou jen výparem vody z bobulí). Zbylé bobule se nalily vodou a zvětšily svou hmotnost. Také hmotnost ořezaného réví byla vyšší.



Graf 3: Vyjádření rovnováhy mezi plodností a růstem révy

Kvalitativní parametry hroznů ukazuje tabulka 3. Dostatečně vyzrálé hrozny mají obvykle 200-250 g/l zkvasitelných monosacharidů v moštu /12, 13, 15/, což je ideální množství pro

optimální činnost kvasinek a výrobu vína v kategorii pozdní sběr (cukernatost min. 21 °NM), čehož v době analýzy nedosáhla žádná z variant. Nejvyšší hodnoty blížící se optimu vykazovala zejména varianta C (AlSe) 199 g/l – 20,3 °NM.

Optimální hodnoty asimilovatelného dusíku hroznech jsou uváděny v rozmezí 190-200 mg/l /12, 13/ a tuto hranici splňovala jen varianta A (Albit) – 192,2 mg/l. Vyšší hodnoty podporují rychlejší kvašení, ale tím i rychlé zahřátí kvasícího moštu a možný vznik sirkových tónů; nižší hodnoty pak mohou za pomalejší kvašení a možný vznik oxidačních tónů ve víně.

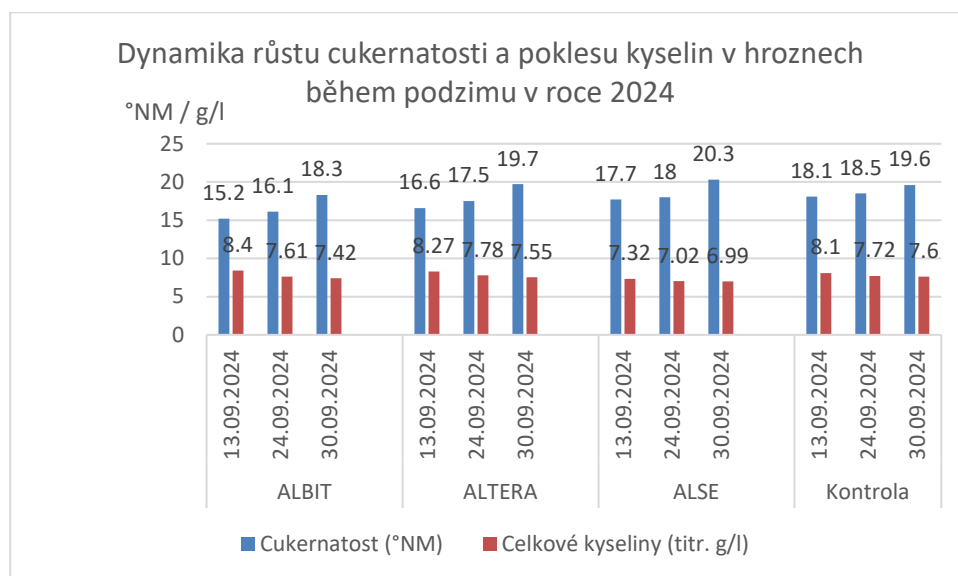
Důležitý je i poměr cukrů a kyselin v moštu /15, 18, 19/. Zejména při vysokých letních teplotách v posledních letech (vyšší maximální denní i noční teploty) je důležité zachování obsahu kyselin v bobulích pro stabilitu výsledného vína /13/. Optimální množství kyselin (> 5 g/l) vykazovaly všechny varianty (7-7,6 g/l). Rozdíly mezi jednotlivými hlavními kyselinami obsaženými v moštu nebyly statisticky významné. Zajímavý byl až rozdíl v množství kyseliny glukonové, jejíž vyšší množství upozorňuje na bobule obsahující plíseň šedou (*Botrytis*).

Tabulka 3: Analytické parametry (při sběru 30.9.2024)

Přístrojové vybavení	Analytické parametry	Variant A - Albit	Variant B - Altera	Variant C - AlSe	Variant D - kontrolní
Miura	Asimilovatelný dusík v hroznech (mg/l)	192,2	117,4	99,1	122,3
HPLC	Zkvasitelné cukry – Glukosa + Fruktosa (g/l)	173,58	188,91	198,97	184,09
Refraktometr	Cukernatost hroznů (°Bx)	19,5	20,6	21,1	20,5
Moštoměr	Cukernatost moštu (°NM)	18,3	19,7	20,3	19,6
Titračně	Kyseliny celkové (g/l)	7,42	7,55	6,99	7,6
HPLC	Kyselina jablečná (g/l)	0,4	0,39	0,21	0,41
HPLC	Kyselina vinná (g/l)	5,89	6,16	5,86	6,12
HPLC	Kyselina citronová (g/l)	0,03	0,15	0,04	0,07
HPLC	Kyselina glukonová (g/l)	0,88	0,29	0,16	1,67
pHmetr	pH moštu	3,29	3,21	3,25	3,33

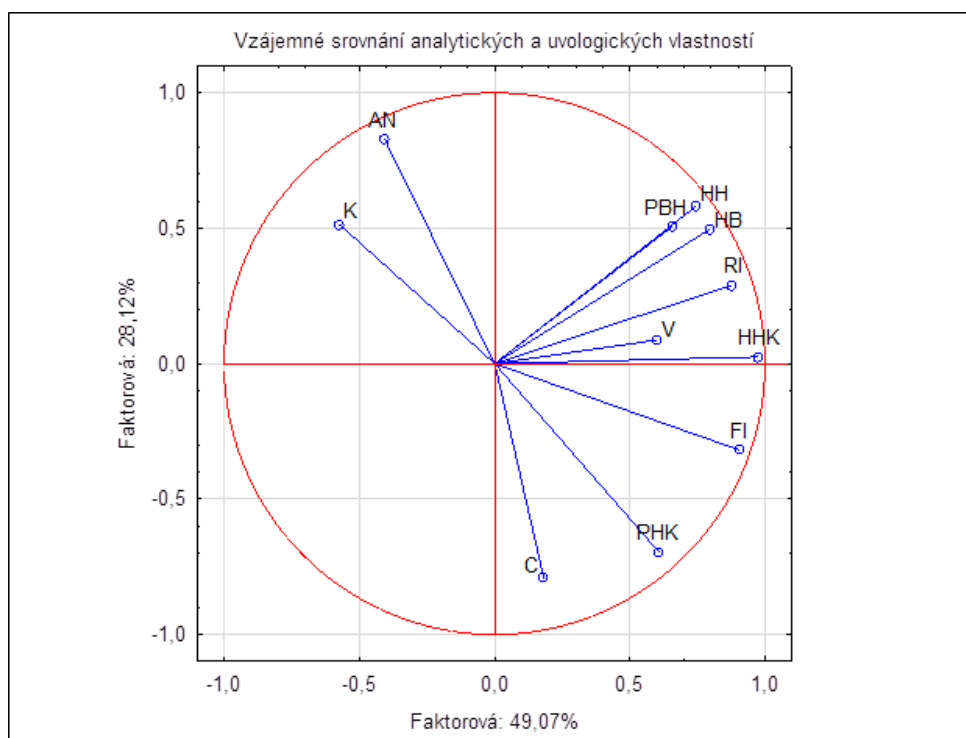
Dynamiku nárůstu cukernatosti a pokles kyselin v bobulích během podzimu v roce 2024 ukazuje graf 2, kde je vidět zejména vyšší nárůst cukernatosti v posledním týdnu před sběrem

u všech testovaných variant (průměrně o 2,2 °NM) oproti kontrole (1,1 °NM). To lze vysvětlit díky poklesu teplot a deštivým dnům v měsíci září, jenž podpořily u testovaných variant rychlejší nárůst listové plochy (zejména fazochy v horní části listové stěny), jenž nahradily opadlé listy vedrem a atakem plísně révové v měsíci srpnu. U kontrolní varianty s prořídlejší listovou stěnou lze nárůst cukernatosti přičítat i výparu vody z bobulí, díky slunečnímu a relativně teplému poslednímu týdnu v měsíci září (prům. teplota byla 18,4 °C).

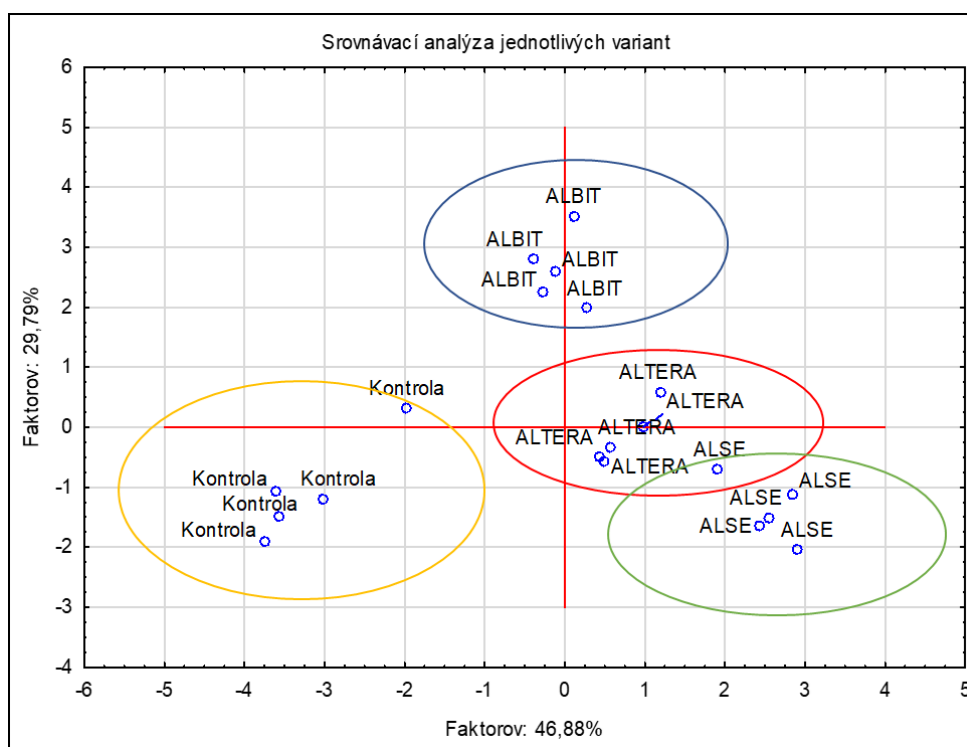


Graf 4: Množství cukrů a kyselin v hroznech během podzimu v roce 2024

Statistické vyhodnocení je prezentováno grafy č. 5 a 6, pomocí PCA analýzy. Z grafu 5 je patrné, že silné pozitivní korelační vztahy byly nalezeny mezi komponenty AN (as. dusík) a K (obsah kyselin); dále mezi PHK (množství hroznů na keři), C (jejich cukernatostí) a FI (indexem plodnosti) a v dalším kvadrantu se seřadily komponenty blíže související s výnosem (V), tj. HHK (hmotnost hroznů na keři), HH (hmotnost hroznu), HB (hmotnost bobule) a PBH (počet bobulí v hroznu). Čím blíže jsou komponenty blíže kružnice, tím je vztah užší a pokud vektory svírají malý úhel (nebo jako v tomto případě jsou téměř překrývající se), značí to velmi silný pozitivní korelační vztah. Komponenty v protilehlých kvadrantech značí naopak silnou negativní korelaci, např. mezi K (množství kyselin v hroznech) a C (cukernatostí), PHK (počtem hroznů na keři) či FI (indexem plodnosti). Obecně platí, že bobule s nižším obsahem cukrů mají naopak vyšší obsah kyselin a také více asimilovatelného dusíku v hroznech /13/, což se prokazuje i zde. Dále větší množství hroznů na keři souvisí s indexem plodnosti a čím více hroznů na keři je, tak klesá jejich cukernatost /2, 12, 16, 17/. Výnos dle grafu nejvíce ovlivňuje hmotnost hroznů a bobulí (obecně hmotnost hroznů na keři) a množství těchto bobulí v hroznech.



Graf 5: PCA analýza vybraných komponent (analytických/uvologických) vzájemně mezi sebou u všech variant. Legenda: AN – asimilovatelný dusík v hroznech, C - cukernatost, K – obsah kyselin, V – výnos, PHK - počet hroznů na keři, HHK – hmotnost hroznů na keři, HH - hmotnost hroznu, HB - hmotnost bobule, PBH – počet bobulí v hroznu, FI – index plodnosti a RI – Ravaziův index



Graf 6: PCA- shluková analýza všech sledovaných komponent vzájemně mezi variantami

Z hlediska vitality keřů vyjádřenou přes RI (Ravaz index) je vidět, že největší vliv na ní (těsnější korelaci) mají právě výnosové atributy jako V (výnos), HH (hmotnost hroznů), HB (hmotnost bobule), HHK (hmotnost hroznů na keři) a PBH (počet bobulí v hrozně); což je v souladu s teorií, že RI až tolik nesouvisí s FI a plodnost odrůdy (FI) s výnosem /9, 11, 12, 19/.

Z grafu 6 je patrný rozdíl mezi sledovanými variantami; přesto lze konstatovat, že skutečně existuje užší korelační vztah mezi testovacími variantami B (Altera), C (AlSe) a A (Albit) oproti kontrolní variantě (D).

ZÁVĚR

Lokalita byla v daný rok poměrně stresová, jednak díky vyššímu obsahu Ca v půdě a zejména díky dosti suchému a horkému létu, navíc s vyšším atakem houbových chorob, zejména plísně révové (v měsíci srpnu) a plísně šedé (koncem září).

Kontrolní varianta D vizuálně více trpěla suchem, neboť měla vyšší podíl žlutých listů, které postupně opadávaly. Patrně díky tomu (urychlení zrání) a vyššímu ataku plísní révovou (na listech i bobulích) došlo k výraznějšímu odlisťování a dále sesychání a poté opadu nafialovělých bobulí (menší hrozny s méně bobulemi), což způsobilo, že varianta měla zpočátku dobrou cukernatost i obsah kyselin. Díky slabšímu olisťování listové stěny byl však další nárůst cukernatosti v bobulích hroznů jen pozvolný (spíše výparem a tvorbou cibéb). U variant s testovanými přípravky (A, B i C) docházelo k pozdějšímu projevu žloutnutí listů a jejich případnému opadu (jen spodní listy listové stěny). Menší množství napadených bobulí plísní révovou oproti kontrole rychle seschlo a opadlo. Zbývající bobule se po deštích začátkem září nalily vodou a zvětšily svou hmotnost a velikost. Také se projevil intenzivnější růst nových listů v horní části listové stěny. Bobule tak měly zpočátku zrání nižší cukernatost oproti kontrole (podpora růstu, větší bobule), nicméně koncem září došlo k intenzivnímu nárůstu cukernatosti (u variant B a C vyšší než varianta kontrolní), díky intenzivní fotosyntéze a tvorbě cibéb v důsledku ataku plísně šedé na bobulích. Vyšší denní teploty (cca 20 °C), a naopak nižší noční teploty (cca 10 °C), způsobovaly ranní mlhy a šíření „ušlechtilé hniloby“ na vinici. Dá se však předpokládat, že pokud by nedošlo k poškození hroznů plísní šedou a díky tomu k předčasné sklizni, byla by cukernatost hroznů pokusných variant patrně ještě vyšší.

Dle očekávání oproti kontrole stouply výnosové charakteristiky u variant s testovanými přípravky, tj. průměrná hmotnost hroznů i bobule, průměrná hmotnost hroznů na keři a pochopitelně samotný výnos. Dá se tedy říci, že aplikace těchto přípravků měla nesporně pozitivní vliv na výnos rostlin, i přes fakt, že sledovaný rok 2024 byl srážkově dosti podprůměrný (zejména během vegetace).

Otázkou však zůstával vliv hnojiva na rovnováhu mezi plodností a růstem, tedy hodnoty Ravazova indexu. Rovnováha mezi růstem a plodností sledovaných keřů daných variant (RI) se u odrůdy Ryzlink rýnský pohybovaly mírně pod optimální hodnotou (<5). Je třeba si uvědomit, že mladé révové keře mají obecně bujnější růst (tvorba větší listové plochy podporující rychlejší nárůst kořenů), což při stresových podmínkách vede k nižší plodnosti (větší výnosové ztráty) a neoptimálnímu RI. Na RI mají pochopitelně nemalý vliv i prováděné zelené práce, zejména podlom, regulace násady a práce s fazochy, pochopitelně také výživa (hnojiva) a průběh počasí v daném roce. Proto bude nutné sledovat tento parametr i v následujícím roce po aplikaci testovaných přípravků.

LITERATURA

- /1/ Ajinomoto Agro Solutions: Biostimulants as a sustainable tool in food production, 2024. <https://www.ajiagrosolutions.com/biostimulants/>
- /2/ Sotolář, R., Šuldes, J. Novik, A.: Porovnání vitality a výnosu keřů révy s využitím biostimulantů Albit, Altera a Alse. *Zahradnictví*, 6, 2025: v tisku.
- /3/ Botanický ústav AVČR: Biostimulanty rostlin, 2020. <https://www.ibot.cas.cz/en/plant-biostimulants-and-their-effects-on-symbiotic-microorganisms/>
- /4/ Jardin, P.: Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 2015: 3-14.
- /5/ University of Minnesota: Biostimulants: What are they and do they work? 2024. <https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2018/12/biostimulants-what-are-they-and-do-they.html>
- /6/ Meteodata stanice Mendelea, ZF Lednice – experimentální vinice, 2024: https://is.mendelu.cz/auth/dok_server/slozka.pl?id=70698
- /7/ Mayline Investment Corporation Limited: <https://albitcz.eu/> and <https://www.mayline.eu/product-page/albit-max-1-l>
- /8/ Ravaz, M.K.: Influence spécifique réciproque du greffon et du sujet chez la vigne. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 50, 1903: 87-100.
- /9/ Vance A.J., Skinkis P.: Understanding vine balance: an important concept in vineyard management Book Understanding vine balance: an important concept in vineyard management. Oregon State University. 2013.
- /10/ Keller, M.: The science of grapevines: Anatomy and physiology; Academic Press/Elsevier: Amsterdam Boston, 2010. ISBN 978-0-12-374881-2.
- /11/ Kraus, V.: Korelace při tvarování révy ve vztahu k agrotechnickým opatřením. Závěrečná zpráva č. VI-4-3 (VI-1)/1980, VŠZ Brno.
- /12/ Sotolář, R.: Srovnání uvolgických a analytických parametrů u různého typu vedení révy. *Vinař – sadař*, 1, 2023: 30-33.
- /13/ Pavloušek, P.: Pěstování révy vinné – moderní vinohradnictví, Graga Praha, 2024 (druhé rozšířené vydání). ISBN 9788027131662.
- /14/ Kutina, J., Barborka, A., Cvopa, J., Kalášek, J., Kraus, V., Pospíšilová, D., Richter, M., Svoboda, V., Vachůn, Z., Vondráček, J., Záruba, P. a Zlatošová, B.: Pomologický atlas 1, Zemědělské nakladatelství Brázda, Praha. 1991
- /15/ Ribéreau-Gayon, P., Branco, J.M.: Handbook of enology: The chemistry of wine stabilization and treatments. Chichester. 2006. ISBN 97804700103962.
- /16/ Kraus, V.: Vinohradnictví II.: Základní agrotechnika révy vinné. Skriptum VŠZ Brno. 1979.
- /17/ Vance A.J.: Impacts of crop level and vine vigor on vine balance and fruit composition in Oregon Pinot noir. Oregon university. 2012.
- /18/ Vasconcelos M.C., Castagnoli, S.: Leaf canopy structure and vine performance. *Am. J. Enol. Vitic.*, 51, 2000: 390-396.
- /19/ Těthal, J., Sochor, J., Sotolář, R., Pavloušek, P., Baroň, M., Danko, R., Kaplan, M., Klimek, K.: A study on effects of rootstocks on vine balance of 'Cerason' cultivar. *Horticultural Science (Prague)*, 52, 2025: 202-214.

PODĚKOVÁNÍ

Studie vznikla za podpory firmy Mayline Investment Corporation Limited, s.r.o. a projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

SUCHO AKO KLÚČOVÝ FAKTOR OVPLYVŇUJÚCIM PRODUKCIU KVERCETÍNOVÝCH GLYKOZIDOV V *LOTUS* sp.

DROUGHT IS A CRUCIAL FACTOR AFFECTING PRODUCTION OF QUERCETIN-GLYCOSIDES IN LOTUS sp.

Michaela Bačovčinová¹, Kristína Trush², Adriana Eliášová³, Peter Paľove Balang¹

¹ Department of Plant biology, Institute of Biology and Ecology, Faculty of Science, P.J. Šafárik University in Košice, Mánesova 23, SK-04001, Košice, Slovakia,

² Department of Dendrobiology, Mlyňany Arboretum, Institute of Forest Ecology Slovak Academy of Sciences, Vieska nad Žitavou, Slovakia.

³ Department of Ecology, Faculty of Humanities and Natural Sciences, University of Prešov, Ul. 17. Novembra 1, SK-08016 Prešov, Slovakia

Summary

In addition to the widely distributed flavonols, legumes synthesize substantial quantities of isoflavonoids via isoflavane synthase activity. Isoflavonoid biosynthesis likely competes with the production of other flavonoids, particularly flavonols, and their accumulation in plant tissues is influenced by multiple environmental factors. While *Lotus* spp. are known to accumulate significant levels of kaempferol and quercetin glycosides, quercetin glycoside concentrations tend to remain low under controlled, stable conditions. Notably, certain abiotic factors preferentially induce isoflavane biosynthesis while exerting minimal effects on quercetin production. This study aimed to identify environmental triggers capable of enhancing flavonol biosynthesis over isoflavane production. Drought stress followed by high illumination were identified as the most potent inducers of this shift.

Key words: quercetin, flavonol, stress metabolites, glycosides, drought, legumes

Súhrn

Okrem široko rozšírených flavonolov syntetizujú strukoviny značné množstvá izoflavonoidov prostredníctvom izoflavánsyntázy. Biosyntéza izoflavonoidov pravdepodobne konkuruje produkcii iných flavonoidov, najmä flavonolov, a ich akumulácia v rastlinných pletivách je ovplyvnená viacerými faktormi prostredia. *Lotus* spp. akumuluje významné množstvo kaempferolu a kvercetínových glykozidov, avšak koncentrácie kvercetínových glykozidov sú za kontrolovaných, stabilných, podmienok nízke. Je pozoruhodné, že určité abiotické faktory prednostne indukujú biosyntézu izoflavánov, pričom majú minimálny vplyv na produkciu kvercetínu. Cieľom tejto štúdie bolo identifikovať environmentálne spúšťače schopné zvýšiť biosyntézu flavonolov oproti produkcii izoflavánov. Stres zo sucha nasledovaný vysokým osvetlením bol identifikovaný ako najúčinnnejší induktor tohto posunu.

Kľúčové slová: kvercetín, flavonol, stresové metabolity, glykozidy, sucho, strukoviny

ÚVOD

Flavonoids are an important class of low-molecular-weight plant secondary metabolites that play important roles in pigmentation, plant defence, and response to abiotic stress. Flavonols, especially quercetin, but also kaempferol, are typically found in the form of glycosides and are among the most abundant and bioactive flavonoids found in many plant species, including numerous economically important legumes. They have been extensively investigated for their diverse range of activities, including antioxidant, UV-protective, and signalling properties [1].

Despite the importance of flavonols in plants, previous experiments have shown that the overall quercetin content (unlike the closely related flavonol kaempferol) in *Lotus japonicus* or *L. corniculatus* grown under controlled conditions in a plant chamber is low or even hardly detectable across different studies [2,3]. While in non-legume species, the production of flavonols (like quercetin) is a typical response to abiotic stress that can improve their tolerance [4,5] in legumes, a distinct pattern emerges. In addition to the flavonol-producing pathway, a specific isoflavonoid pathway exists in legumes, based on the activity of the isoflavone synthase (IFS) enzyme [6] This pathway produces numerous bioactive compounds involved in plant defence against biotic stresses.

Growing evidence now points to isoflavonoids playing roles in abiotic-stress defence as well, effectively providing an alternative to flavonols, flavones, or other flavonoid subgroups in legumes [7]. Crucially, several stress factors that reliably induce quercetin in non-legumes, most notably UV radiation [8] fail to elicit a strong flavonol response in *Lotus* spp. Instead, these conditions predominantly stimulate isoflavonoid production [2,9] This raises the question: what factors could induce quercetin accumulation present in natural environment? How may the biosynthesis of legumes differ in this point?

The aim of this study was therefore to compare side by side the biosynthesis of flavonols versus isoflavonoids in *Lotus japonicus* under various environmental stress factors.

MATERIAL AND METHODS

Plant material and growth conditions

Lotus corniculatus L. plants were collected from the local-wild population in the area of the Botanical Garden in Košice (48°44'09"N 21°14'17"E, 239 m elevation) on 18 June 2021 after a relatively dry period. Four randomly chosen plants were transplanted from the field to the pots including the soil collected at the location and transferred to the plant room for 15 days under controlled conditions.

The model legume *Lotus japonicus* (Regel) K. Larsen ecotype Gifu (B-129-S9) was used for the experiments. Seedlings were propagated using 8 cm long shoot cuttings transferred to pots (5 cuttings per pot) filled with vermiculite. Plants were grown for 30 days in the plant room. Pots were watered with standard Hornum nutrient solution (Handberg and Stougaard 1992). Plants were grown in a plant room with photosynthetic photon flux density (PPDF) at the plant level was approximately $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (6500K) provided by Secred Jardin Cosmoggrow LED 40W tubes under a 14/10 h day/light cycle, at 22 °C with 70 % relative humidity. For high illumination experiment the PPDF was increased to around $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (at the leaf canopy level at 20 ± 2) using the full spectrum led tubes (as above) with red maxima at 660 nm and blue maxima at 440 nm. Plants were transferred to high illumination for

a week. For UV-B treatment the plants were irradiated for 16h with the bioactive UV-B dose $0,32 \text{ mW cm}^{-2}$ using Sayko Denki, G8T5E fluorescence lamp, as described previously [2].

To evaluate the effect of external conditions on the flavonol content, one half of well-watered plants were transferred from controlled conditions to the experimental field in the Botanical Garden in Košice (during the period preceding the collection of *L. corniculatus* plants described above), while still left in their pots. These plants were left in the field for 15 days (from the 3rd to the 18th of June 2021; with an average temperature of 19.5°C , an average daily minimum around 14.1°C , and a maximum around 24.7°C). A single significant rainfall occurred on the second day of the experiment (6.1 mm), and a very light rain on the 10th day (1.0 mm).

Plants treated with cold were transferred each night for 7 days to an incubator set to 5°C in darkness and kept there for 10 hours to simulate low temperature at night. During the light period, they were placed together with the control plants.

Plants in the plant room were subjected to two consecutive drought periods to simulate the recurrent drought. The plants were cultivated in pots filled with a 1:1 (v:v) mixture of vermiculite and sand. The pots were watered with Hornum solution, and their weights were monitored. Preliminary tests showed that plants began to wilt when the pot weight dropped below 56%. Consequently, the first set of samples was collected for the experimental tests, when the pot weight reached approximately 56-58% (phase I, which occurred after 6 days). The remaining pots were then re-watered. When the pot weight decreased to 56-58% again, the second set of plants was collected for analysis (phase II occurred after an additional 8 days). Control plants were collected at the end of the experiment. Three randomly selected plants of each phase were dried at 70°C for 48 h after which their dry weights were recorded.

Flavonoid and isoflavonoid HPLC analyses and identification

For the extraction of flavonoids and isoflavonoids, leaves collected from a single individual plant were considered as one biological replicate and were pooled together. The samples were then dried at a temperature of 55°C for 24 hours and stored in a dry environment until further processing. The plant material was homogenized in a mortar and subsequently extracted with 80% (v/v) methanol for a period of 2 hours in closed plastic tubes. Following extraction, the samples were centrifuged at 5,000 rpm for 5 minutes and the supernatants were filtered through a $0.2 \mu\text{m}$ nylon membrane. Samples were analysed using an Agilent 1260 Infinity Quaternary HPLC system (Agilent Technologies, Inc.) with 1260 Infinity DAD detector and reversed phase ARION® POLAR C18 250 x 4.6 mm $5 \mu\text{m}$ column (Chromservis). The solvent was delivered to the column at a 0.7 mL/min flow rate. The two mobile phases used were 5% (v/v) acetonitrile with 3% (v/v) trifluoroacetic acid (A) and 80% (v/v) acetonitrile (B). Peaks identification was based on their retention time, UV-absorption spectra and by comparison with standards of vestitol (ChemFaces), medicarpin (Plantech, UK), kaempferol 3-O-rhamnoside (Sigma Aldrich), kaempferol 3-O-glucoside, kaempferol 3-O-galactoside, quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-rhamnoside (Extrasynthese), or using the standards isolated and identified previously by NMR methods [10]. Lotisofavane was identified according to the LC-MS/MS spectra and by comparison with the dominant isofvanave compound accumulated in the *Lotus angustifolius* extracts that has been previously described as lotisoflavane [11].

The content of individual flavonoids was determined using an external standard calibration method and calculated as $\mu\text{mol g}^{-1}$ dry mass. Flavonol glycosides were evaluated at $\lambda = 350$ nm using the calibration line of quercetin-3-O-rhamnoside for MS-identified quercetin glycosides, and kaempferol 3-O-glucoside for MS-identified kaempferol glycosides, except for kaempferol 7-O-6-deoxyhexose, which was evaluated using the kaempferol 7-O-glucoside standard. Vestitol, vestitol-hexosides, a vestitol derivative, medicarpin, and sativan were evaluated at $\lambda = 220$ nm. Vestitol was utilized as the reference for its glycosides, sativan and lotisoflavane.

RESULTS AND DISCUSSION

Four major abiotic factors were chosen to compare their effect on total kaempferol-glycosides, quercetin-glycosides and isoflavonoid content (Fig. 1). UV-B strongly induced isoflavonoid accumulation, whereas flavonols were not induced. Similar, although weaker induction was detected in the case of low night temperature resulting to increased vestitol accumulation; other isoflavonoids were not significantly affected. Strong illumination (data not shown) and recurrent drought induced the accumulation of quercetin glycosides but had only minor effect on isoflavonoids and kaempferol glycosides. According to this results it is clear, that different abiotic factors can induce alternative pathways in *L. japonicus* leading to differences in accumulation of correspondent compounds. As the induction by recurrent drought was found to be stronger in our experimental conditions, this factor has been further investigated.

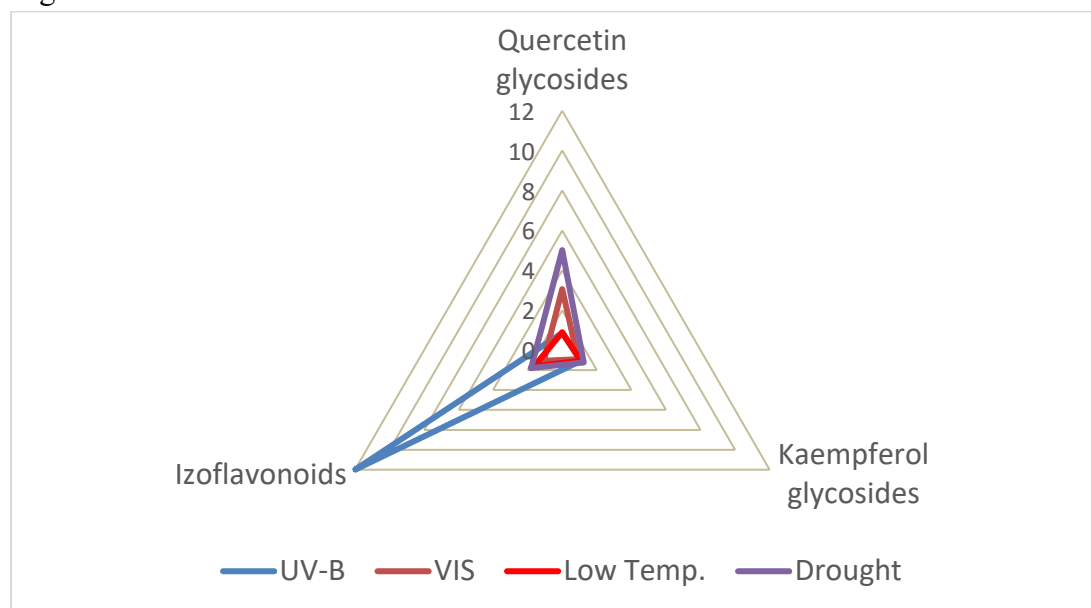


Fig.1 Effect of individual factors on flavonoid and isoflavonoid content

Two drought periods were simulated in plant room. The average water content in control shoots was about 84.5 %, in drought-treated plants it was 77.7 % and 75.4 % in phase I and phase II respectively. Leaves extracts of the plants grown in drought were analysed by LC-MS for quercetin glycosides identification and compared with the compounds found in leaves of *L. corniculatus* plants grown in natural conditions (Table S1). The metabolite profile of the two species was similar, but *L. corniculatus* extract was richer and more diverse in quercetin

glycosides content. Also contained a malonylated form of kaempferol glycoside. On the other hand, there was not any flavonol glycoside that would be detected in *L. japonicus*, but not in *L. corniculatus*.

Changes in the accumulation of kaempferol glycosides were less apparent compared with quercetin glycosides. Kaempferol 3,7-di-O-rhamnoside, the most abundant kaempferol glycoside in the leaves of *L. japonicus* tended to increase slightly but not significantly. Significant increase was observed only for Kaempferol 3-O-glucosyl (1-2)-glucoside-7-O-rhamnoside and Kaempferol 3-O-rhamnoside both after one or two phases of treatment.

Vestitol content exhibited an increase under drought conditions. Levels of sativan and two vestitol glycosides also showed a tendency to rise, but with significant increases observed only following two consecutive phases of drought stress. In contrast, medicarpin, typically present in minuscule quantities, remained undetected in all samples throughout the drought experiment.

Table S1 Changes of the flavonoid and isoflavonoid content in leaves of *L. corniculatus* 15 days after transfer from the field to the plant room. Results are the means in $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM $\pm$ SE of 3 biological replicates.

compound	On field (t=0)	Plant room 15 days
Quercetin-6DH, -Hex -Hex	0.296 $\pm$ 0.014	0.129 $\pm$ 0.026**
Quercetin-6DH, -Hex -Hex	0.382 $\pm$ 0.015	0.161 $\pm$ 0.051**
Quercetin-6DH, -6DH-Hex	0.034 $\pm$ 0.010	0.032 $\pm$ 0.009
Quercetin-6DH, -6DH-Hex	0.112 $\pm$ 0.015	0.052 $\pm$ 0.008*
Kaempferol-3-O-glucosyl (1-2)-glucoside-7-O-rhamnoside	0.275 $\pm$ 0.022	0.193 $\pm$ 0.018*
Kaempferol-3-O-glucosyl (1-2)-galactoside-7-O-rhamnoside	0.222 $\pm$ 0.023	0.130 $\pm$ 0.017*
Kaempferol-6DH, -6DH-Hex	0.056 $\pm$ 0.004	0.036 $\pm$ 0.020
Kaempferol-6DH, -Hex-Pen	0.060 $\pm$ 0.009	0.058 $\pm$ 0.010
Quercetin-6DH, -Hex	1.035 $\pm$ 0.019	0.353 $\pm$ 0.041**
Quercetin-6DH, -Hex	1.354 $\pm$ 0.076	0.618 $\pm$ 0.044**
Quercetin-6DH, -Pen	1.032 $\pm$ 0.011	0.478 $\pm$ 0.029**
Kaempferol-3-O-galactosyl-7-O-rhamnoside	0.294 $\pm$ 0.021	0.207 $\pm$ 0.014*
Kaempferol-3-O-glucosyl-7-O-rhamnoside	0.677 $\pm$ 0.069	0.597 $\pm$ 0.020
Quercetin-6DH, -6DH	8.456 $\pm$ 0.257	2.377 $\pm$ 0.213**
Kaempferol-3,7-di-O-rhamnoside	2.509 $\pm$ 0.059	2.275 $\pm$ 0.213
Kaempferol-3-O-galactoside	0.026 $\pm$ 0.009	0.026 $\pm$ 0.004
Quercetin-Pen	1.013 $\pm$ 0.071	0.959 $\pm$ 0.078
Kaempferol-3-O-glucoside	0.085 $\pm$ 0.009	0.079 $\pm$ 0.010
Quercetin-3-O-rhamnoside	0.182 $\pm$ 0.022	0.147 $\pm$ 0.013
Kaempferol-6DH, -6DH-Mal	0.101 $\pm$ 0.012	0.065 $\pm$ 0.015
Kaempferol-3-O-rhamnoside	0.063 $\pm$ 0.004	0.039 $\pm$ 0.006
Quercetin-7-O-6DH	0.064 $\pm$ 0.004	0.039 $\pm$ 0.005*
Kaempferol-7-O-6DH	0.034 $\pm$ 0.029	0.318 $\pm$ 0.034*
Vestitol- glycoside	0.057 $\pm$ 0.005	0.105 $\pm$ 0.016
Vestitol- glycoside	0.039 $\pm$ 0.005	0.112 $\pm$ 0.021
Vestitol	0.148 $\pm$ 0.023	0.577 $\pm$ 0.043*
Lotisoflavane	0.131 $\pm$ 0.021	0.261 $\pm$ 0.031
Medicarpin	n.d.	0.041 $\pm$ 0.003*
Sativan	0.121 $\pm$ 0.008	0.302 $\pm$ 0.031*

Significant differences between means are marked * ($p < 0.05$) or ** ($p < 0.01$) as determined by Student's t-test, n.d. – not detectable, 6DH – 6-deoxyhexose, Hex – hexose, Pen – pentose

CONCLUSION

In conclusion, the two biological pathways producing flavonols and isoflavonoids in *Lotus japonicus* are regulated competitively depending on external factors. UV-B irradiation exclusively induces the production of isoflavonoids, whereas drought and high illumination induce flavonol production. The genes LjUGT78K9 and LjUGT73C17 likely encode enzymes involved in flavonol glycosylation. The accumulation of quercetin glycosides exhibits substantial variability and is highly inducible, in contrast to the more stable kaempferol

glycoside content. The competitive regulation of isoflavonoid and flavonol production in response to abiotic stress in this species is present in other legumes, at least to some extent.

These findings highlight the potential of targeting flavonoid pathways to enhance plant resilience under adverse environmental conditions.

REFERENCES

- /1/ Vollmannová A, Bojňanská T, Musilová J, Lidíková J, Cifrová M (2024). Quercetin as one of the most abundant represented biological valuable plant components with remarkable chemoprotective effects - A review. *Heliyon* 10: e33342
- /2/ Kaducová M, Monje-Rueda MD, García-Calderón M, Pérez-Delgado CM, Eliášová A, Gajdošová S, Petruřová V, Betti M, Márquez AJ, Pal'ove-Balang P (2019) Induction of isoflavonoid biosynthesis in *Lotus japonicus* after UV-B irradiation. *J Plant Physiol* 236, 88-95
- /3/ Trush K, Eliášová A, Monje-Rueda MD, Kolarčík V, Betti M, Pal'ove-Balang P (2023) Chitosan is involved in elicitation of vestitol production in *Lotus japonicus*. *Biol Plant* 67: 75-86
- /4/ Nakabayashi R, Yonekura-Sakakibara K, Urano K, Suzuki M, Yamada Y, Nishizawa T, Matsuda F, Kojima M, Sakakibara H, Shinozaki K, Michael AJ, Tohge T, Yamazaki M, Saito K (2014) Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by overaccumulation of antioxidant flavonoids. *Plant J* 77: 367-379
- /5/ Jan R, Khan MA, Asaf S, Lubna Waqas M, Park JR, Asif S, Kim N, Lee IJ, Kim KM (2022) Drought and UV radiation stress tolerance in rice is improved by overaccumulation of non-enzymatic antioxidant flavonoids. *Antioxidants (Basel)* 11: 917
- /6/ Cheng H, Wang J, Chu S, Yan HL, Yu D (2013) Diversifying selection on flavanone 3-hydroxylase and isoflavone synthase genes in cultivated soybean and its wild progenitors. *PLoS One* 8: e54154
- /7/ Trush K, Pal'ove-Balang P (2023) Biosynthesis and role of isoflavonoids in legumes under different environmental conditions. *Plant Stress* 8: 100153
- /8/ Agati G, Biricolti S, Guidi L, Ferrini F, Fini A, Tattini M (2011) The biosynthesis of flavonoids is enhanced similarly by UV radiation and root zone salinity in *L. vulgare* leaves. *J Plant Physiol* 168: 204-212
- /9/ Kaducová M, Eliášová A, Trush K, Bačovčinová M, Sklenková K, Pal'ove-Balang P (2022) Accumulation of isoflavonoids in *Lotus corniculatus* after UV-B irradiation. *Theor Exp Plant Physiol* 34, 53–62.
- /10/ García-Calderón M, Pons-Ferrer T, Mrázová A, Palove-Balang P, Vílková M, Pérez-Delgado C, Vega J, Eliášová A, Repčák M, Márquez AJ, Betti M (2015) Modulation of phenolic metabolism under stress conditions in a *Lotus japonicus* mutant lacking plastidic glutamine synthetase. *Front Plant Sci* 6: 760
- /11/ Ingham JL, Dewick PM (1980) Isolation of the new isoflavan phytoalexin from two *Lotus* species. *Phytochemistry* 19: 2799-2800

Acknowledgements

Authors acknowledge the financial support of the project VEGA 1/0452/24 from the Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic.

VLIV ABIOTICKÝCH FAKTORŮ NA ROZVOJ INFEKCE *LEPTOSPHERAERIA MACULANS* U ROSTLIN *BRASSICA NAPUS*

THE IMPACT OF ABIOTIC FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF LEPTOSPHERAERIA MACULANS INFECTION IN BRASSICA NAPUS PLANTS

Barbora Jindřichová, Lukáš Maryška, Mohri Marzieh, Lenka Burketová

Ústav experimentální botaniky AV ČR, v.v.i, Rozvojová 313, 165 00 Praha 6 – Lysolaje,
jindrichova@ueb.cas.cz

Summary

The aim of this study was to investigate the effect of moderate drought and cold stress on the resistance of oilseed rape (*Brassica napus*) to *Leptosphaeria maculans*. Plants exposed to drought showed increased resistance to the pathogen, as demonstrated by a 50% reduction in necrotic lesions. Transcription of salicylic acid marker genes was higher in plants exposed to drought. In plants exposed to cold, a 50% increase in lesion area was observed, while in plants that followed the cold with a recovery phase, the lesion area was reduced by 40% compared to control plants. Transcription of salicylic acid, jasmonic acid, and ethylene marker genes was higher in plants exposed to cold. Our results provide insight into the mechanism of plant adaptation to combined biotic and abiotic stress factors, the understanding of which is important for sustainable agriculture in a changing environment.

Key words: biotic stress, Brassica napus, cold stress, defence genes, drought stress, Leptosphaeria maculans

Souhrn

Cílem této práce bylo studium vlivu mírného stresu suchem a chladem na odolnost řepky olejné (*Brassica napus*) vůči *Leptosphaeria maculans*. Rostliny vystavené suchu vykazovaly zvýšenou odolnost vůči patogenu, o čemž svědčí menší nekrotické léze o 50 %. Transkripce markerových genů kyseliny salicylové byla vyšší u rostlin vystavených suchu. U rostlin vystavených působení chladu byl sledován nárůst plochy léze o 50 %, v případě rostlin, u kterých po chladu následovala recovery fáze, byla plocha lézí snížena o 40 % v porovnání s kontrolními rostlinami. Transkripce markerových genů kyseliny salicylové, jasmonové a etylénu byly vyšší u rostlin vystavených chladu. Naše výsledky poskytují vhled do mechanismu adaptace rostlin na kombinované biotické a abiotické stresové faktory, jehož pochopení je důležité pro udržitelné zemědělství v měnícím se životním prostředí.

Klíčová slova: biotický stres, Brassica napus, chlad, Leptosphaeria maculans, obranné reakce, sucho

ÚVOD

Rostliny během svého života jsou vystavovány dynamickému životnímu prostředí, kde se musí umět reagovat na abiotické, biotické stresy a jejich kombinace. Během posledního století dochází k výraznějším změnám klimatu, které se proto stalo významnou hrozbou pro

zemědělství [1]. Vzhledem k mnoha proměnným – rostliny, patogeny a prostředí – je poměrně obtížné předpovědět, jak změna klimatu ovlivní výskyt rostlinných chorob. Klima ovlivňuje nejen kondici rostlin, ale i mikroorganismy, jejich schopnost být pro rostliny patogenní i jejich distribuci a množství. Tyto tlaky poté formují koevoluci mezi rostlinami a mikroorganismy, stejně jako ovlivňují biologii rostlin jako hostitelů a patogenů jako vektorů chorob. Změna klimatu může proto nepřímo ovlivnit interakce mezi rostlinami a patogeny, kde může měnit biochemické procesy a fyziologii u hostitelské rostliny a/nebo patogenu [2, 3].

Abiotické stresory obvykle snižují náchylnost k biotrofním patogenům, ale u hemibiotrofů a nekrotrofů je tento účinek často opačný. Různé abiotické stresory také modifikují reakce transkriptomu rostlin na biotické patogeny a ovlivňují jejich náchylnost k infekci [4]. U rostlin cizrný, které byly vystaveny stresu suchem a poté inokulované patogenem *Macrophomina phaseolina* nebo *Fusarium solani*, bylo pozorováno významné snížení biomasy a výnosu [3]. Jiná studie ukazuje, že rostliny rýže vystavené chladu vykazovaly větší susceptibilitu k patogenu *Magnaporthe grisea* [5]. Na druhé straně u *Arabidopsis thaliana* bylo ukázáno, že vystavení nízkým teplotám může paradoxně zvýšit rezistenci vůči bakteriálnímu patogenu *Pseudomonas syringae* [6]. Tyto příklady ukazují, že dopad abiotických stresů na citlivost rostlin k infekcím je komplexní a závisí na druhu rostliny, patogenu, intenzitě a době expozice.

Rostliny *Brassica napus* patří mezi jedny z nejvýznamnějších plodin, které se pěstují celosvětově (Austrálie, Evropa, Kanada a severní Čína). Jedním z nejvýznamnějších houbových patogenů *B. napus* je *Leptosphaeria maculans* (synonymum *Plenodomus lingam*) [7], původce choroby zvané fomové černání stonku řepky.

MATERIÁL A METODIKA

Rostliny *Brassica napus* byly pěstovány hydroponicky v perlitu a Steinerově kultivačním mediu za kontrolovaných podmínek (14/10 h, 21/20 °C, 150 μmol m⁻² s⁻¹).

Houba *Leptosphaeria maculans* (anamorf *Phoma lingam*), izolát JN2 [8] byla kultivována na agarem ztuhlém mediu V8. Kultury pro sporulaci a suspenze konidií byly připraveny podle Melayah, 1995 a Šašek et al., 2012 [9]. Připravené spory byly naředěny na 108 spor ml⁻¹ a skladovány při teplotě -20 °C po dobu maximálně 6 měsíců.

Rostliny byly inokulovány pomocí infiltrace suspenzí spor o koncentraci 105 spor ml⁻¹. Rostliny byly poté inkubovány za podmínek růstu, příznaky byly skenovány mezi 12 a 14 dnem po inokulaci. Velikost léze byla vyhodnocena pomocí analýzy obrazu programem APS Assess 2.0.

Stres suchem byl prováděn v následujícím uspořádání: rostliny ve stáří 12 dní byly přesunuty z živného roztoku do suchých táčů za stávajících kultivačních podmínek po dobu 68 h. Poté byly rostliny opět přesunuty do živného roztoku a po 24 h byly rostliny inokulovány pomocí infiltrace suspenzí spor *L. maculans*.

Stres chladem byl prováděn ve dvou uspořádání: chlad následovaný inokulací a chlad s recovery fází a následnou inokulací. Rostliny ve stáří 14 dní a 12 dní byly umístěny do teploty 5 °C po dobu 3 dnů. V uspořádání chladu byly rostliny po chladu ihned inokulovány suspenzí pomocí infiltrace suspenzí spor *L. maculans*. V případě chladu s recovery fází byly rostliny po chladu přemístěny do standardních kultivačních podmínek a po 2 dnech byly rostliny inokulovány pomocí infiltrace suspenzí spor *L. maculans*.

Transkripce genů byla stanovena v děložních listech podle metody popsané v Šašek et al., 2012 [9]. Děložní listy (disky, přibližně 150 mg) byly zamrazeny v kapalném dusíku.

Pletiva byla homogenizována v zkumavkách s 1 g 1,3 mm křemičitých kuliček a celková RNA byla izolována pomocí soupravy Spectrum Plant Total RNA (Sigma-Aldrich corp., USA). Množství a kvalita RNA byla vyhodnocena na Nanodrop 1000 (Thermo Scientific, USA). Následně bylo 1 µg RNA ošetřeno soupravou DNafree Kit (Ambion Inc., USA) a převedeno na cDNA pomocí reverzní transkriptázy M-MLV RNase H-Point Mutant (Promega Corporation, USA) a primeru oligo dT21 (Metabion International AG, Německo). Ekvivalent 6,25 ng RNA byl vložen do 10 µl qPCR reakce s qPCR master mixem (LightCycler® 480 SYBR Green I Master kit, Švýcarsko) provedené v 96jamkové qPCR destičce (Axygen, USA) v Light-Cycler 480 (Roche Diagnostics World AG, Švýcarsko). Podmínky PCR byly následující: 95 °C po dobu 10 minut, 45 cyklů při 95 °C po dobu 10 sekund, 55 °C po dobu 20 sekund a 72 °C po dobu 20 sekund; následovala analýza tání. Hodnoty Ct a křivky tání byly vypočítány pomocí softwaru LightCycler 4.1 (Roche). Relativní exprese byla vypočítána s korekcí účinnosti a normalizací na referenční gen aktin.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pro simulaci environmentálních podmínek mírného sucha a následné recovery fáze jsme vystavili 11denní rostliny *B. napus* 68 hodinám sucha (bez zalévání), po nichž následovala 24hodinová fáze recovery před inokulací spórami *L. maculans*. Ve 14. dni po infekci bylo hodnocení infekce provedeno jako relativní plocha lézí na infikovaných děložních listech.

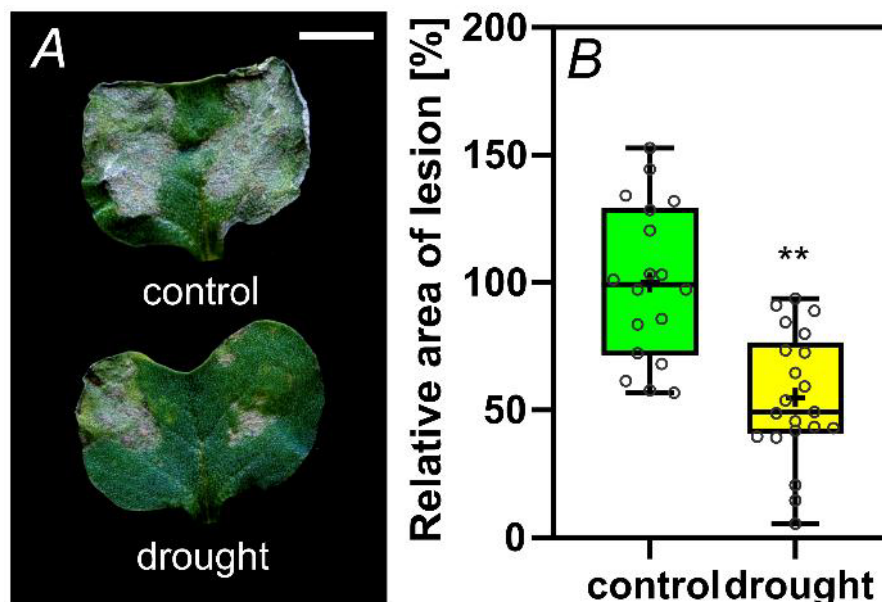
Rostliny vystaveny krátkému působení sucha byly odolnější vůči houbové infekci – relativní plocha léze byla snížena o 50 % v porovnání s kontrolními rostlinami, které byly během experimentu kultivovány bez vystavení působení sucha (graf. 1).

Pro popsání vlivu sucha, houbové infekce a kombinace stresových faktorů na úrovni transkripčního profilu jsme vybrali na základě našich předchozích studií markerové geny, které jsou spojeny s obrannými signálními drahami. Byla analyzována relativní transkripce 17 genů podílejících se na obranných reakcích *B. napus*.

Podle očekávání, transkripce genů markerů sucha a genů markerů signální dráhy ABA byla ovlivněna stresem způsobeným suchem (graf 2). Geny RD26, NCED3, LEA1, HSF22, CIPK6 a MYB vykazovaly 3,6krát, 3,7krát, 86krát, 4,2krát, 5,3krát a 5,4krát vyšší transkripci ve srovnání s kontrolní skupinou, zatímco transkripce WRKY40 byla 2,5násobně nižší. Po recovery fázi (24 hodin po zalévání) se transkripční úrovně NCED3, LEA1, HSF22, CIPK6 vrátily na kontrolní úroveň, zatímco transkripce MYB zůstala 2krát vyšší ve srovnání s kontrolou a transkripce RD26 a WRKY40 se snížila 3,3krát a 10krát. Suchem byly ovlivněny také obranné markerové geny, zejména dráhy SA a JA/Et. Transkripce PR2 a ICS1 se po suchu zvýšila. Na druhé straně transkripce PR1, βCHI a PDF1.2 poklesla po suchu 16krát, 7krát a 2krát. Po recovery fázi se transkripce PR2 a ISC1 vrátila na kontrolní úroveň, zatímco transkripce PR1 a PDF1.2 zůstala 2,2krát a 2,5krát vyšší; a transkripce PAL1, βCHI a AOS klesla 2,2krát, 1,7krát a 4,3krát pod kontrolní úroveň.

Infekce *L. maculans* sama o sobě aktivovala dráhy SA (zvýšení transkripce biosyntetických a responsivních genů) ve 3 dpi a aktivaci dráhy ET (zvýšení transkripce biosyntetického genu) v 7 dpi; transkripce genů responsivních na JA a ET byla také zvýšena ve

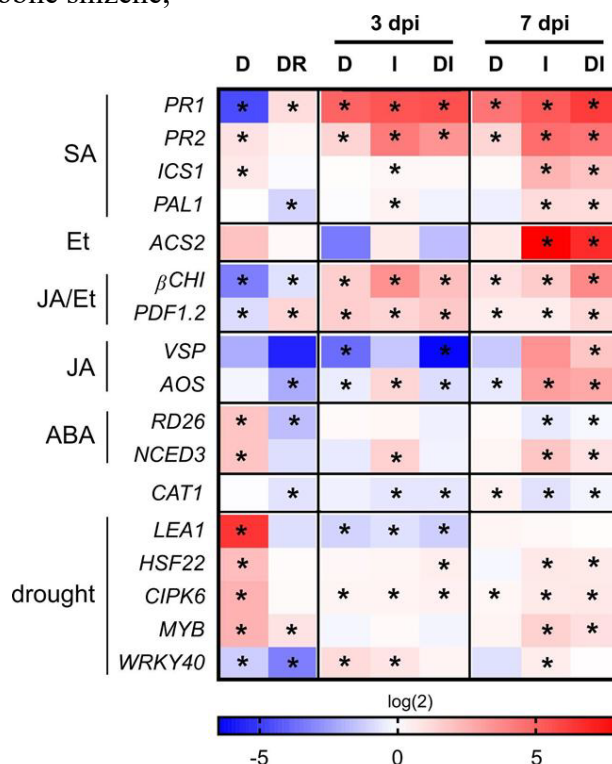
3 a 7 dpi. Transkripce některých genů markerů sucha byla u infikovaných rostlin také snížena, CAT1 ve 3. a 7. dni po infekci a LEA1 ve 3. dni po infekci. Naopak transkripce HSF22, CIPK6, MYB a WRKY40 byla u infikovaných rostlin zvýšena, CIPK6, WRKY40 v obou časových bodech a HSF22, MYB v 7. dni po infekci.



Graf 1: Vliv sucha na rozvoj symptomů infekce *L. maculans* u *B. napus*. Rostliny *B. napus* (11denní) byly vystaveny stresu suchem po dobu 68 hodin, následovalo 24 h recovery fáze a inokulace suspenzí spor *L. maculans*. Po 14 dnech od infekce byly příznaky hodnoceny jako relativní plocha léze, přičemž kontrolní ošetření bylo nastaveno na 100 %. A. Reprezentativní fotografie děložních lístků *B. napus* s lézemi, čára představuje 1 cm. B. Relativní plocha lézí, %. Boxploty pokrývají mezikvartilový rozsah, středová čára představuje medián, znaménko „+“ odpovídá průměru; ** označuje varianty, které se významně liší od kontroly, jednosměrná ANOVA s Dunnettovou korekcí pro vícenásobné srovnání, $p < 0,01$, $n = 24$.

Kombinace sucha a infekce *L. maculans* vyvolala stejné signální dráhy obrany rostlin jako samotná infekce *L. maculans* – aktivaci drah SA a ET (graf 2). Při srovnání rostlin vystavených dvojímu stresu (sucho a inokulace) s rostlinami, které byly pouze inokulovány, byla transkripce PR1 v kombinovaných stresových podmínkách 1,7krát vyšší v 7. dni po inokulaci. Na druhé straně byla transkripce PAL1 v podmínkách kombinovaného stresu 3 dny po infekci 1,6krát nižší než u rostlin vystavených pouze infekci. V podmínkách kombinovaného sucha následovaného zotavením a infekcí byla transkripce VSP a AOS 3 dny po infekci potlačena 20krát a 4,5krát, transkripce β CHI byla 2,7krát nižší 3 dny po infekci, ale 4krát vyšší 7 dní po infekci a PDF1.2 byl 1,6krát vyšší 7 dní po infekci ve srovnání s rostlinami pouze inokulovanými *L. maculans*. Kromě toho byla aktivace ABA dráhy při kombinovaném stresu nižší než v reakci na samostatnou infekci *L. maculans* (RD26 1,5krát, NCED3 3,3krát), s výjimkou 7. dne po infekci, kdy byla transkripce RD26 1,2krát vyšší. Vezmeme-li v úvahu známý antagonismus mezi drahami SA a JA, může downregulace dráhy JA u rostlin vystavených stresu suchem vést ke zvýšení dráhy SA. Podobný účinek lze pozorovat v ABA dráze za stresových podmínek. Markerové geny stresu sucha (CAT1, HSF22, MYB a

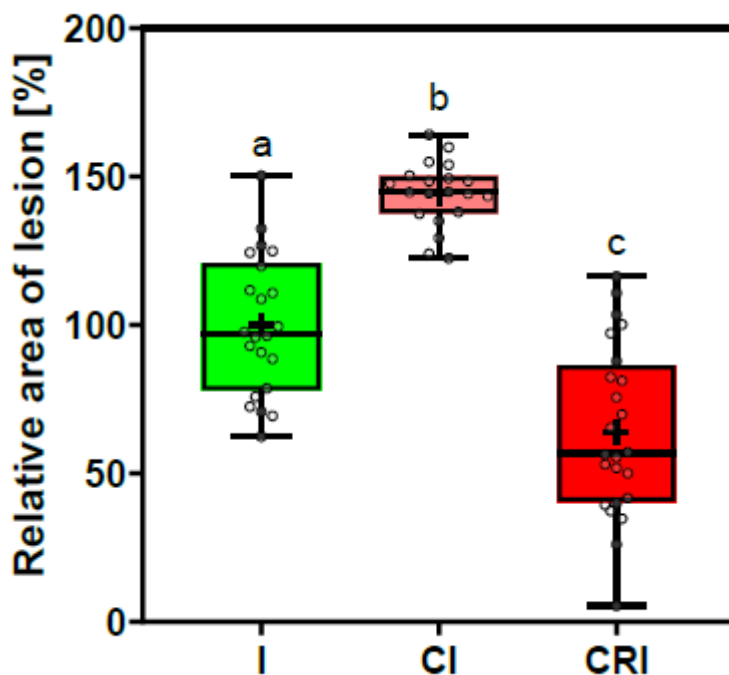
WRKY40) měly odlišný transkripční profil v kombinovaném stresu a inokulovaných děložních listech. HSF22 byl zvýšený u obou typů stresu 3 dny po infekci (1,2násobně) a MYB i WRKY40 byly 1,4násobně sniženy,



Graf 2: Vliv stresu způsobeného suchem, recovery fází a inokulace *L. maculans* na transkripci genů markerů stresu v děložních listech *B. napus*. Rostliny byly vystaveny stresu způsobenému suchem po dobu 68 hodin, poté následovala recovery fáze a inokulace infiltrací spor *L. maculans*. Vzorky byly odebrány na konci vystavení suchu, po recovery fázi, 3 dpi a 7 dpi po inokulaci. **D**: rostliny vystavené suchu po dobu 68 hodin; **DR**: rostliny vystavené suchu a následnou recovery fází po 24 hodin; **I**: inokulované *L. maculans*, **DI**: rostliny vystavené suchu a inokulované. Heat mapa představuje relativní transkripci genových markerů konkrétních signálních drah, log2 násobná změna. Hvězdičky označují varianty, které se významně liší od neošetřené kontroly, $p < 0,05$, nepárový t-test, $n = 4$.

Pro simulaci dalšího stresu jsme vystavili rostliny stresu chladem, byly vybrány dvě varianty, kde byly rostliny po vystavení chladu ihned inokulovány nebo po chladu následovala recovery fáze a inokulace sporami *L. maculans*. Po 12 dnech od inokulace byly hodnoceny velikosti lézí jako relativní plocha léze.

Rostliny vystavené pouze chladu, kde následovala inokulace *L. maculans*, vykazovaly větší plochu lézí o 50 % v porovnání s kontrolními rostlinami. U rostliny, kde po chladu následovala recovery fáze a následná inokulace, byl pozorován pokles velikosti lézí o 40 % v porovnání s rostlinami v kontrolních podmínkách (graf 3).



Graf 3: Vliv chladu na rozvoj symptomů infekce *L. maculans* u *B. napus*. Rostliny *B. napus* (11denní) byly vystaveny stresu chladem po dobu 2 dnů (CI) a chladu následovaných 3 dny (CRI) recovery fáze a inokulace suspenzí spór *L. maculans*. Po 14 dnech od infekce byly příznaky hodnoceny jako relativní plocha léze, přičemž kontrolní ošetření bylo nastaveno na 100 %. Relativní plocha lézí, %. Boxploty pokrývají mezikvartilový rozsah, středová čára představuje medián, znaménko „+“ odpovídá průměru; písmena označují varianty, které se významně liší, jednosměrná ANOVA s Dunnettovou korekcí pro vícenásobné srovnání, $p < 0,05$, $n = 24$.

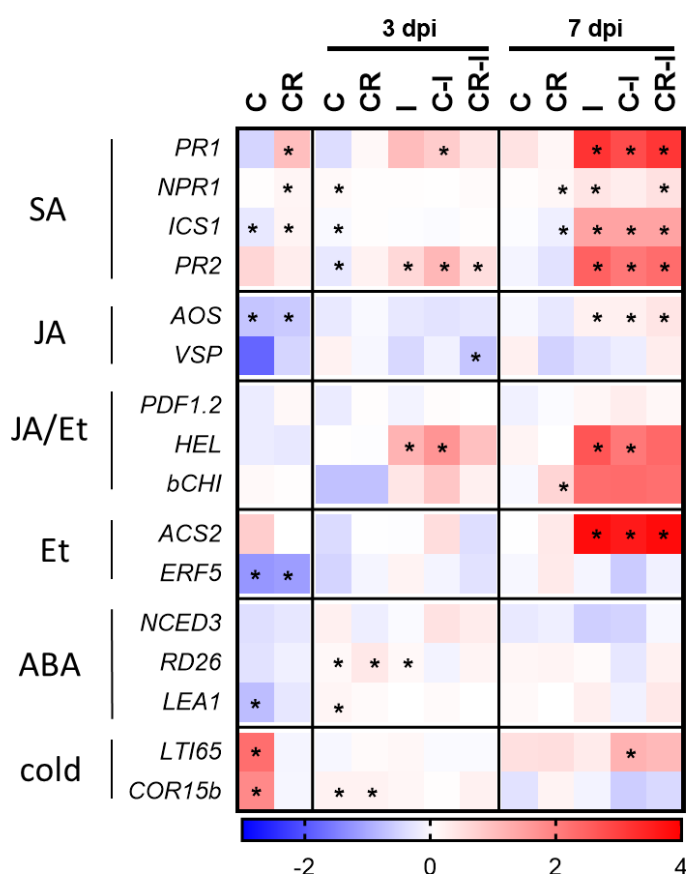
Pro studium vlivu chladu, houbové infekce a kombinace stresových faktorů na úrovní transkripčního profilu jsme vybrali na základě našich předchozích studií markerové geny, které jsou spojeny s obrannými signálními drahami. Byla analyzována relativní transkripce 16 genů podílejících se na obranných reakcích *B. napus*.

Podle očekávání, transkripce genů markerů chladu a genů markerů signální dráhy ABA byla ovlivněna stresem způsobeným suchem (graf 4). Geny *LTI65* a *COR15b* vykazovaly 185krát a 70krát vyšší transkripci ve srovnání s kontrolní skupinou, zatímco transkripce *LEA1* byla 6krát nižší. Po recovery fázi (2 dny normální kultivační podmínky) se transkripční úrovně *LTI65*, *COR15b* a *LEA1* vrátily na kontrolní úroveň. Chladem byly ovlivněny také obranné markerové geny, zejména dráhy SA, JA, JA/Et a Et. Transkripce *ICS1*, *AOS* a *ERF5* byla po chladu snížena 2krát, 5krát a 14krát. Po recovery fázi se transkripce *PRI*, *NPR1* a *ICS1* zvýšila 11krát, 1,5krát a 1,5krát, zároveň zůstaly geny *AOS* a *ERF5* snižené 4krát a 14krát v porovnání s kontrolními rostlinami.

Infekce vyvolaná *L. maculans* vedla k aktivaci signální dráhy SA, což se projevilo zvýšenou transkripcí genů zajišťujících biosyntézu SA a odpověď již ve 3 dpi. V čase 7 dpi byla zaznamenána aktivace dráhy ET, zvýšení transkripcí biosyntetického genu *ACS2*. Kromě toho byla jak ve 3 dpi, tak v 7 dpi detekována zvýšená transkripce genů odpovědných za reakce řízené JA a ET. Geny spojeny s odpovědí na chlad nebyly v inokulovaných rostlinách ovlivněny.

Kombinace chladu (s recovery a bez recovery fáze) a infekce aktivovala stejné signální dráhy jako samotná infekce *L. maculans*. Při porovnání kombinace stresu chlad a inokulace s rostlinami, které byly pouze inokulované, byla transkripce *PR2* a *HEL* zvýšená 3,1krát u obou genů, naproti tomu transkripce *RD26* 2krát snižena v porovnání s pouze inokulovanými rostlinami ve 3. dni po inokulaci. V pozdější fázi infekce (7 dpi) byly geny *PR1*, *PR2*, *HEL* a *LEA1* sníženy 2,5krát, 2,1krát, 3,2krát a 2,3krát snižené v porovnání s rostlinami pouze inokulovanými. Transkripce genu *LTI65* markeru chladu byla u rostlin vystavených chladu a infekci zvýšená transkripce v 7. den po inokulaci.

Při kombinaci chladu s recovery fází následovanou inokulací byla zvýšená transkripce pouze genu *AOS* (1,5krát) v porovnání s pouze inokulovanými rostlinami.



Graf 4: Vliv stresu způsobeného chladem, recovery fází a inokulace *L. maculans* na transkripci genů markerů stresu v děložních listech *B. napus*. Rostliny byly vystaveny stresu způsobenému chladem po 3 dny, recovery fáze byla 2 dny, rostliny byly inokulovány infiltrací spór *L. maculans*. Vzorky byly odebrány na konci vystavení chladu, po recovery fázi, 3 dpi a 7 dpi po inokulaci. **C:** rostliny vystavené chladu po dobu 3 dnů; **CR:** rostliny vystavené chladu a následnou recovery fází po 2 dny; **I:** inokulované *L. maculans*, **C-I:** rostliny vystavené chladu a inokulované, **CR-I:** rostliny vystavené chladu s následující recovery fází a inokulací. Heat mapa představuje relativní transkripci genových markerů konkrétních signálních drah, log2 násobná změna. Hvězdičky označují varianty, které se významně liší od neošetřené kontroly, $p < 0,05$, nepárový t-test, $n=4$.

ZÁVĚR

Abiotický stres ovlivňoval rozvoj infekce *L. maculans* u rostlin *B. napus*. U rostlin, které byly vystaveny působení suchem po dobu 68 h a následné recovery fáze, byl rozvoj infekce způsobených houbovým patogenem *L. maculans* snížený v porovnání s kontrolními rostlinami. Rostliny vystavené působení chladu, po kterém následovala přímo inokulace, byly náchylnější k infekci *L. maculans*. Pokud u rostlin vystavených chladu následovala recovery fáze, byly tyto rostliny odolnější k infekci *L. maculans*.

LITERATURA

- /1/ Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S. Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J.: Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8, 2019.
- /2/ Priya, P., Patil, M., Pandey, P., Singh, A., Babu, V.S., Senthil-Kumar, M.: Stress combinations and their interactions in plants database: a one-stop resource on combined stress responses in plants. *Plant Journal*, 116, 2023: 1097-1117.
- /3/ Singh, B.K., Delgado-Baquerizo, M., Egidio, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H., Trivedi, P.: Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21, 2023: 640–656.
- /4/ Rivero, R.M., Mittler, R., Blumwald, E. Zandalinas, S.I.: Developing climate-resilient crops: Improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*, 109, 2022: 373–389.
- /5/ Koga, H., Dohi. K., Mori, M.: Absciscic acid and low temperatures suppress the whole plant-specific resistance reaction of rice plants to the infection of *Magnaporthe grisea*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 65, 2004: 3-9.
- /6/ Zhan, L., Huimin, L., Zehong, D., Jiapi, Y., Huiyun, Y., Ronghui, P., Jin, H., Yajing, G., Jian, H.: Low Temperature Enhances Plant Immunity via Salicylic Acid Pathway Genes That Are Repressed by Ethylene. *Plant Physiology* 182, 2020: 626–639.
- /7/ Van de Wouw, A.P., Howlett, B.J.: Advances in understanding the *Leptosphaeria maculans*—*Brassica* pathosystem and their impact on disease management. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 42, 2020: 149–163.
- /8/ Balesdent, M.H., Barbetti, M.J., Li, H. et al. : Analysis of *Leptosphaeria maculans* Race Structure in a Worldwide Collection of Isolates. *Phytopathology* 95, 2005: 1061–1071.
- /9/ Šašek, V., Nováková, M., Jindřichová, B., Boka, K., Valentová, O., Burketová, L.: Recognition of Avirulence Gene *AvrLm1* from Hemibiotrophic Ascomycete *Leptosphaeria maculans* Triggers Salicylic Acid and Ethylene Signaling in *Brassica napus*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 25, 2012: 1238–1250.

Poděkování

Práce byla podpořena grantem z Evropského fondu pro regionální rozvoj – Projektové centrum pro experimentální rostlinnou biologii (č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000738) a MycoLife – Svět hub, AV ČR, výzkumný program AV21 Strategie

EXAKTNÍ METODA NA MECHANICKOU STIMULACI KLÍČENÍ SEMEN

A PRECISE METHOD FOR MECHANICALLY STIMULATING SEED GERMINATION

Michal Šerý¹, Božena Šerá², Hubert Žarnovičan²

¹ Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Jeronýmova 10,
371 15 České Budějovice, Česká republika

² Přírodovědecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6,
842 15 Bratislava, Slovensko, bozena.sera@uniba.sk

Summary

We developed an abrasive apparatus for reproducible seed scarification (abrasive chamber with mixing paddles, stepper-driven rotor and a control system to set duration and rotation speed). It was tested on *Lens culinaris* 'Beluga' using 50 g of gravel (particle size 3.5–7 mm) and 10 g of seeds at 90, 210 and 700 minutes. Even slight treatment caused surface mattification, longer treatments produced whitish areas (most pronounced after 700 minutes) and all treated batches showed faster germination than the control. The abrasive apparatus thus enables standardised, effective scarification that may improve seed germination.

Key words: seed dormancy, seed germination, seed coat, endocarp, scarification

Souhrn

Vyvinuli jsme abrazivní aparaturu pro reprodukovatelnou skarifikaci semen (abrazivní komora s míchacími lopatkami, krokový rotor, řídicí systém pro nastavení doby a rychlosti rotace). Testováno na *Lens culinaris* 'Beluga' (50 g štěrk, zrnitost 3,5–7 mm; 10 g semen) při 90, 210 a 700 min. Již menší ošetření způsobilo zmatnění povrchu, po delším čase se objevila bělavá místa (nejvíce po 700 min) a všechny ošetřené sady vykázaly rychlejší klíčení než kontrola. Tato abrazivní aparatura umožňuje standardizovanou a účinnou skarifikaci a může zlepšit klíčení semen.

Klíčová slova: dormance semen, klíčivost semen, osemení, oplodí, skarifikace

ÚVOD

Dormance semen je schopnost semene zabránit předčasnému klíčení a přečkat nepříznivé životní podmínky ve stádiu semene/plodu. Dormance semen tak rostlinám umožňuje rozložit klíčení v čase a přečkat období nepříznivého prostředí /1, 2/. Jedním z typů je fyzikální dormance (tvrdosemennost), která vzniká díky nepropustnému osemení/oplodí — tvrdé slupce, která brání průniku vody a plynů k embryu /3/. Aby semeno začalo klíčit, musí dojít k přerušení dormance — tvrdá povrchová vrstva musí být narušena (skarifikace). Teprve potom se dostane voda a kyslík k embryu a mohou se spustit fyziologické růstové procesy /4, 5/.

Skarifikace může proběhnout mechanicky (opotřebením, odíráním), chemicky (působením některých chemických látek) nebo biologicky (rozklad za pomoci mikroorganismů) /6/. Skarifikace probíhá přirozeně v přírodě nebo je možné ji uměle

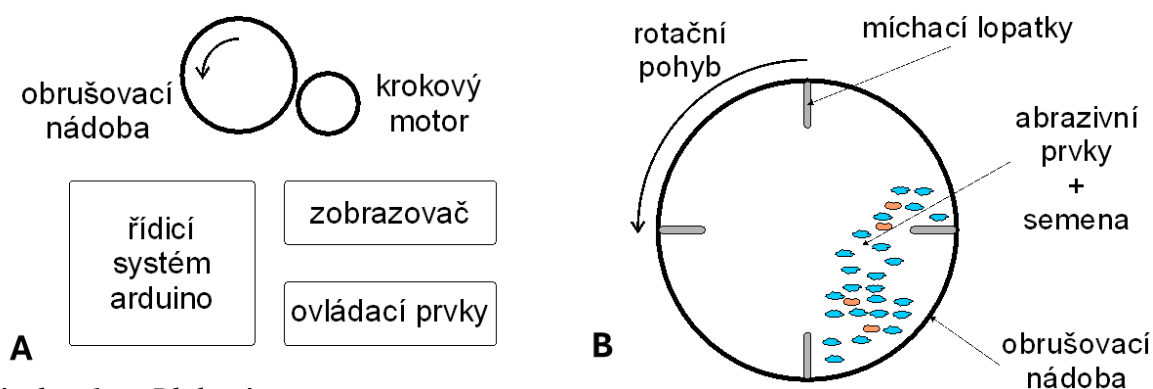
stimulovat. Při umělé skarifikaci se semena obrušují brusným papírem nebo promýcháváním s křemitým pískem. Promýchávání tvrdosemenných semen s pískem je postup, který je běžně používán v lesním semenářství při předosevní přípravě semen dřevin s tvrdým osemením /7/.

PROMÝCHÁVÁNÍ POSYPOVOU DRTÍ

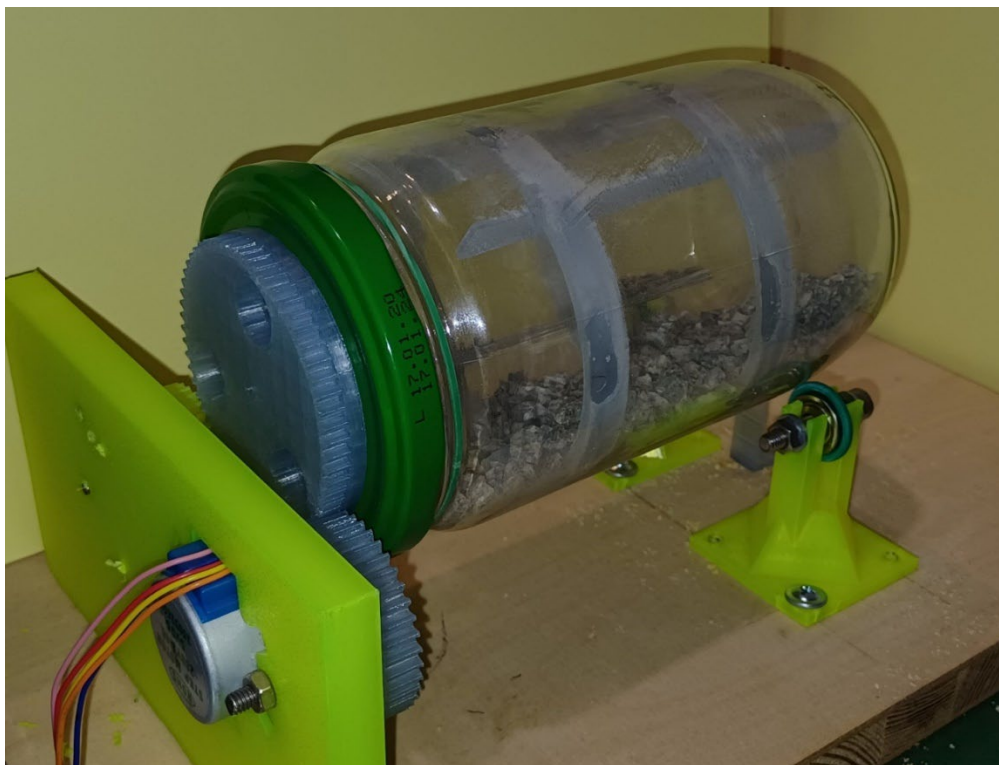
Manuální obrušování při laboratorních pokusech je nepřesné, protože je zatíženo individuálním postupem testující osoby a limitováno malým množstvím semen, které lze takto ošetřit. Je zde mnoho faktorů, které nelze dostatečně standardně zajistit. Tedy, nelze zajistit jednoznačnou opakovatelnost postupu. Navíc tyto individuální postupy z různých laboratoří nelze posléze porovnávat, protože tomu zabráňuje právě ta nejednotnost postupu.

Z toho důvodu byla na katedře fyziky, techniky a chemie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích vyvinuta abrazivní (obrušovací) aparatura na reproducidbilní skarifikaci semen (plodů) různých druhů rostlin. Aparatura je sestavena z abrazivní komory s míchacími lopatkami, krokovým rotorem a řídicím systémem (Obr. 1 a 2).

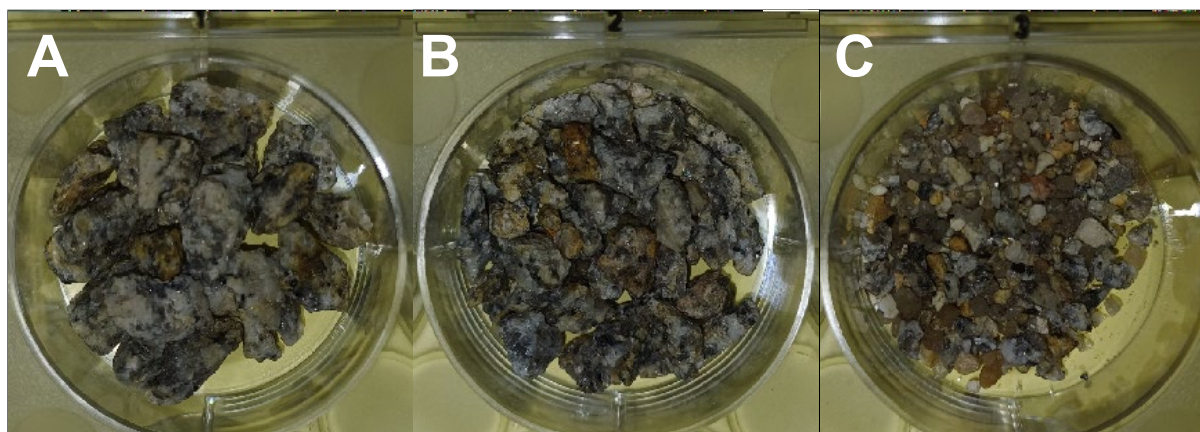
Krokový rotor zajišťuje rotační pohyb abrazivní komory a řídicí systém zajišťuje řízení míry obroušení podle zvolených parametrů (trvání rotace abrazivní komory a rychlost jejího otáčení). Míra obroušení povrchu semen také závisí na použitém abrazivním materiálu, který se společně s ošetřovanými semeny vkládá do abrazivní komory (Obr. 1). Zrnitost a množství abrazivního materiálu je důležitým faktorem, který se může měnit/nastavovat stejně jako doba rotace nebo rychlost otáčení abrazivní komory. Ukázka možných zrnitostí posypové drtě z mleté žuly, kterou lze použít v závislosti od velikosti semen, je znázorněna na Obrázku 3.



Obrázek 1: Blokové schéma abrazivní aparatury (A) a znázornění principu procesu narušení povrchu semen v obrušovací nádobě (B).



Obrázek 2: Fotografie abrazivní aparatury

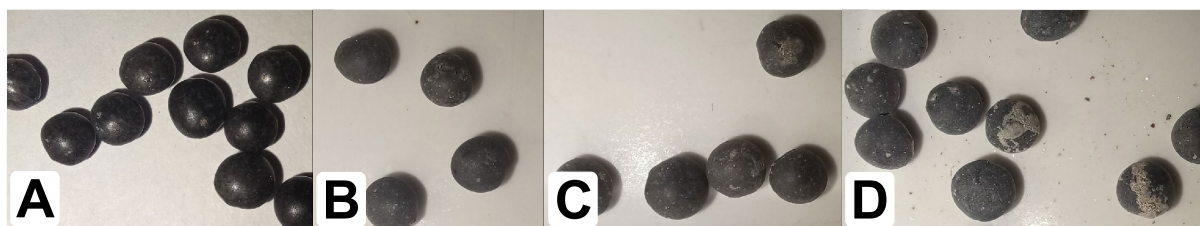


Obrázek 3: Ukázka abrazivního materiálu s různou zrnitostí prvků; A: $7 \div 10$ mm, B: $3,5 \div 7$ mm, C: $< 3,5$ mm.

OBROUŠENÍ OSEMENÍ

Na otestování skarifikace osemení byla použita semena čočky černé (*Lens culinaris* 'Beluga'), která jsou charakteristická nápadně leským černým povrchem a bílými vnitřními strukturami semene. Semena byla zakoupena od firmy Arax. Abrazivní aparatura byla naplněna 50 g šterku se zrnitostí 3,5 – 7 mm a 10 g semen; 2,5 otáček/min, časy obroušování byly 90, 210 a 700 minut.

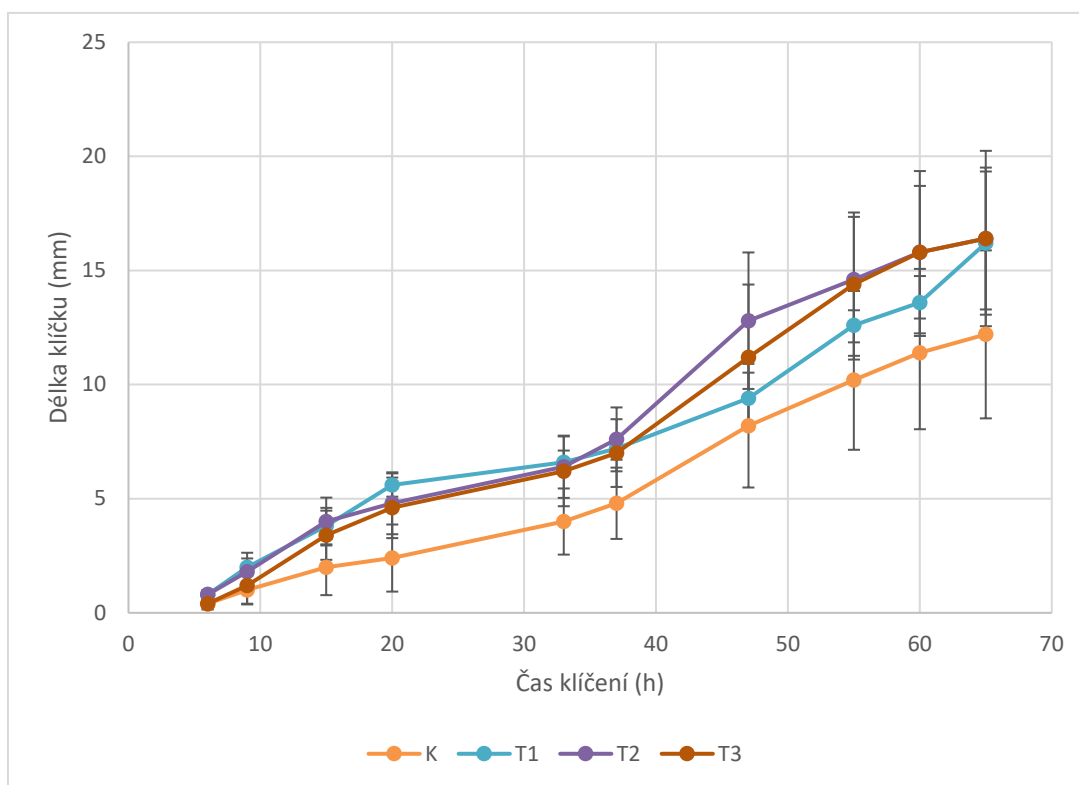
Už při nepatrném narušení povrchu došlo k jeho zmatnění, po delším čase ošetření byla na povrchu semen patrná bělavá místa (Obr. 4). Největší zásah na povrchu testovaných semen je vidět na semenech obroušovaných 700 minut Obrázku 4D.



Obrázek 4: Testovaná semena čočky černé po ošetření v abrazivní aparatuře; použitý štěrk měl zrnitost 3,5 – 7 mm; A: před opracováním (kontrolní vzorek), B: po 90 minutách, C: po 210 minutách, D: po 700 minutách opracování

TEST KLÍČIVOSTI ZLOMENÍ DORMANCE

Pro rychlou kontrolu vlivu obroušení osemení čočky černé na klíčení semen (zlomení dormance) byl proveden test klíčivosti v laboratorních podmínkách /viz 8/. Obroušená místa byla schopna rychleji přijímat vodu a proces klíčení semen byl proto rychlejší (Obr. 5). Všechny tři sety semen ošetřené v abrazivní komoře měly rychlejší růst klíčku než kontrolní set (Obr. 5).



Obrázek 5: Délka klíčku semen čočky černé po ošetření v abrazivní aparatuře (zrnitost materiálu 3,5 – 7 mm); časy ošetření: K – 0 min, T1 – 90 min, T2 – 210 min a T3 – 700 min.

DISKUSE

Zájmovou skupinou pro budoucí výzkum našeho týmu jsou divoce rostoucí druhy hlohu (*Crataegus*). Plody a semena hlohů nebyla pro prvotní vývoj aparatury k dispozici, proto jako modelový materiál byla zvolena semena čočky černé, u které je velmi dobře patrné mechanické opotřebení osemení (Obr. 4). Čočka černá je zemědělská plodina, která je vyšlechtěna na jednotnou vzcházivost, a proto lze změny v procesu klíčení semen (Obr. 5) snáze připsat vlivu abrazivní aparatury.

Při použití abrazivní aparatury všech semen (případně plodů) různých druhů rostlin je ve hře řada mnoha faktorů, např. tvrdost a tloušťka osemení (případně oplodí). Pro volbu optimálního režimu skarifikace (chemické i mechanické) je nevyhnutné znát tloušťku osemení/9, 10/. Gokturk et al. /9/ analyzovali mohutnost endokarpu semen pěti druhů hlohu a zjistili nejen mezidruhovou variabilitu v jeho tloušťce, ale i variabilitu v tloušťce u jednotlivých semen v rámci jednoho druhu. Vzhledem k těmto možným interspecifickým rozdílům v plodech a semenech jednotlivých druhů a jednotlivých rostlin je velmi důležité se věnovat výběru plodů. Pro co nejlepší opakovatelnost mechanické skarifikace endokarpu je proto také dobré znát variabilitu tvrdosti a tloušťky osemení u testovaných druhů semen.

V případě nalezení účinné metody zlomení dormance semen hlohů bude existovat poptávka po upscalingu metody do minimálně poloprovozní aplikace. Pro provoz v praxi bude potřeba většího množství abrazivního materiálu. Proto byl již na počátku zvolen jako abrazivní materiál posypová drť z mleté žuly a ne certifikovaná abraziva, která se vyznačují mnohonásobně vyšší cenou (např. skleněné mikrokuličky stojí cca 3 EUR/kg a ořechové skořápky cca 6 EUR/kg). Další předností tohoto materiálu je jeho dostupnost a rychlé získání vhodné zrnitosti abraziva pomocí sortovacích sít.

ZÁVĚR

Vyvinutá abrazivní aparatura umožňuje řízenou a reprodukovatelnou skarifikaci semen díky nastavitelnému času a rychlosti rotace. Testy na *Lens culinaris* 'Beluga' (50 g šterku, 10 g semen; 90, 210, 700 min) prokázaly postupné poškození povrchu a u všech ošetřených sad rychlejší klíčení než u kontroly (nejvýrazněji po 700 min). Aparatura tedy poskytuje standardizované a účinné řešení pro zlepšení průběhu klíčení. Před použitím abrazivní aparatury doporučujeme optimalizaci parametrů pro různé druhy semen.

LITERATURA

- /1/ Rees, M.: Seed dormancy. In: Crawley M.J. (ed.), *Plant Ecology*, (2nd edn.), Blackwell Science, Oxford, 1997: 214-238.
- /2/ Baskin, C.C., Baskin, J.M.: *Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press, San Diego, 1998.
- /3/ Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A.: *Plant Physiology and Development* (6th ed). Oxford University Press, New York, 2014.
- /4/ Baskin, J.M., Baskin, C.C., Li, X.: Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology*, 15, 2000: 139–152.
- /5/ Finch-Savage, W.E., Leubner-Metzger, G.: Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171, 2006: 501-523.
- /6/ Hendry, G.A., Grime, J.P.: *Methods in comparative plant ecology. A laboratory manual*. Chapman and Hall, Sheffield, 1993.
- /7/ Šmelková, Ľ.: *Zakladanie lesa*. Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 339 pp.
- /8/ Šerá B.: Methodological contribution on seed germination and seedling initial growth tests in wild plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51, 2023: 13164.
- /9/ Gokturk, A., Guner, S., Yildirim, F.: Seed properties of hawthorn (*Crateagus* sp.) species and effects of sulphuric acid pretreatments on seed coat thickness. In: VIII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2017", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 2017. Book of Proceedings. Faculty of Agriculture, University of East Sarajevo, 2017: 733–738.
- /10/ Drvodelić, D., Oršanić, M., Španjol, E., Vuković, M., Jemrić, T.: Fruit and seed morphological traits and duration effect of sulfuric acid seed scarification on some *Crataegus* Tourn. ex L. species. *Šumarski list*, 3–4, 2024: 129–135.

SEED PRIMING WITH PLASMA-ACTIVATED WATER AFFECTS SEED GERMINATION AND SEEDLING GROWTH OF *SALVIA OFFICINALIS*

PRIMING SEMEN POMOCÍ PLAZMOU AKTIVOVANÉ VODY OVLIVŇUJE KLÍČENÍ SEMEN A RŮST SEMANÁČKŮ ŠALVĚJE LÉKAŘSKÉ (*SALVIA OFFICINALIS*)

Xiang Cai¹, Božena Šerá¹, Ramin Mehrabifard², Zdenko Machala²

¹ Department of Environmental Ecology and Landscape Management, Faculty of Natural Sciences, Comenius University Bratislava, Ilkovičova 6, Bratislava 842 15, Slovakia,

² Division of Environmental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University Bratislava, Mlynská dolina, Bratislava 842 48, Slovakia
cai4@uniba.sk

Summary

Salvia officinalis (sage) is an evergreen perennial herb of the Lamiaceae family. Its aromatic leaves and woody stems have long been used for medicinal and culinary purposes. To promote germination and growth of *Salvia officinalis* seeds, a seed priming technique using plasma activated water (PAW) was used. This combined treatment improved germination and seedling growth compared to controls. This suggests that PAW priming is an effective method for improving early growth of *S. officinalis*, potentially offering a sustainable strategy for medicinal plant cultivation. Further experiments will be directed to control the quantity and quality of secondary metabolites.

Key words: medicinal plants, *Salvia officinalis*, PAW, seed priming, seed germination, seedling growth

Souhrn

Šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*) je stálezelená vytrvalá bylina z čeledi Lamiaceae. Její aromatické listy a dřevnaté stonky se již dlouho používají k léčebným a kulinářským účelům. Pro podporu klíčivosti a růstu semen *S. officinalis* byla použita technika priming semen za použití plazmou aktivované vody (PAW). Toto kombinované ošetření zlepšilo klíčivost a růst sazenic ve srovnání s kontrolami. To naznačuje, že PAW priming je účinná metoda pro zlepšení raného růstu *S. officinalis* a potenciálně nabízí udržitelnou strategii pro pěstování léčivých rostlin. Další pokusy budou směřovány na kontrolu množství a kvality sekundárních metabolitů.

Klíčová slova: léčivé rostliny, *Salvia officinalis*, PAW, priming semen, klíčení semen, růst semenáčků

INTRODUCTION

Salvia officinalis is a valuable medicinal and aromatic plant, but its seed germination can face challenges due to the prolonged dormancy and low sensitivity to environmental conditions

/1-3/. Various seed priming techniques, have so far been tested to improve seed germination and seedling growth, including hydropriming and biopriming /1, 4-7/. Hydropriming has been shown to increase the final germination percentage by 25.5% for 12 hours cultivation at temperature of 30 °C, compared to unprimed seeds /1/. Biopriming treatments of seeds with plant hormones, such as gibberellic acid (GA), indole-3-acetic acid (IAA), indole-3-butyric acid (IBA), and naphthylacetate, could also effectively affect germination rate and seedling vigorous characteristics /2, 6/. However, hydropriming could take longer to treat seeds and higher cost of hormonal/hormone-like chemicals would be used in biopriming. Unfortunately, neither can be used in cost-efficiency enhancements of seed germination and seedling vigor.

Over recent years, PAW was developed into an innovative seed priming technology, showing its synergistic effects of seed priming on enhancing seed germination and vegetative growth in various plants, comprising medicinal herbs /6, 8, 9/. Exposing water to cold plasma can lead to the formation of RONS which contributes to its unique effects on seed priming and nutrition for effective germination and growth tolerance to biotic and abiotic stress /9, 10/. On the other hand, PAW is considered as an eco-friendly alternative to traditional priming methods due to its minimal environmental impact and green chemical nature /9-11/.

Apart from a wide range of applications in agriculture, PAW ability to enhance herbal seed germination and medicinal plant growth still needs further study. Therefore, the present study investigated PAW effects on seed priming for *S. officinalis* germination and seedling vigor. Future research could optimize PAW treatments for *S. officinalis* seeds to improve its cultivation and yield.

MATERIALS AND METHODS

The *Salvia officinalis* L. seeds were purchased from a seed company named Osiva Moravia from the Czech Republic. The seeds were stored at room temperature before being treated with various PAWs that had been exposed to cold plasma for different lengths of reaction time (5, 10, 15, and 20 min, hereafter referred to PAW-5, -10, -15, and -20). The PAWs were prepared using a pin-to-plate plasma setup and offered by our collaborative laboratory.

The method of seed treatment used in the present study for testing the effects of PAW on seed germination and seedling initial growth was formulated based on methodological contribution /12/. Five replicates of 150 seeds were conducted in each treatment (PAW-5, PAW-10, PAW-15 and PAW-20), as well as tap water priming (TW) and untreated (UNT) controls. 30 seeds per replicate were placed on the moist filter papers which were rolled like paper towels for cultivating seeds inside /13/. All replicates were packed in the same plastic bag and transferred to a growth chamber set at 25 °C in the dark. Seed germination and seedling length were measured per day, while the dry/fresh biomass were scaled in 14 days.

The collected data were recorded and calculated by Excel spreadsheet. The statistical analysis was carried out using Python programming (Python 3.13.5), in which the visual (Boxplot, Q-Q plot and Histogram) and mathematic (Shapiro-Wilk) methods were used to test data normality, and data homoscedasticity was checked by Bartlett's test. If the original sampling distribution appeared non-normal, the bootstrap method was conducted to normalize the data distribution for statistical estimation.

RESULTS AND DISCUSSION

An experiment was conducted to compare the priming of *S. officinalis* seeds with PAW-5, PAW-10, PAW-15, and PAW-20 to TW hydropriming and UNT controls. The seed germination was observed and recorded over a period of 14 days in cultivation. The change in germination percentage was calculated and summarized in Table 1, to qualify and quantify the effects of PAW on seed priming for the enhanced tolerance to abiotic stress. The results showed the seed germination in all treatments increased notably by 39% in PAW-5, 17% in PAW-10, 29% in PAW-15, and 35% in PAW-20, compared to UNT control (Table 1). By comparison to hydropriming control, the germination percentages were higher in PAW-5 (61%), PAW-15 (51%), and PAW-20 (57%) than in TW (49%), only in addition to PAW-10 (39%). In summary, PAW-5 enhanced the germination performance due to the rich reactive oxygen species (ROS) produced when water was exposed to plasma within 5 min /14/. The ROS have been reported to stimulate seed metabolism, break dormancy, and improve stress tolerance /15/. Furthermore, the prolonged time of plasma exposure to water, like PAW-10, PAW-15 and PAW-20, can generate nitrites, nitrates, and ammonia etc. reactive nitrogen species (RNS), which provide nitrogen nutrients for seed germination /16/. However, more nitrites than nitrates could be detected in PAW-10, resulting in inhibition of seed initial metabolism during germination /17/.

In the early seedling growth, both root and shoot lengths were measured separately using the ImageJ software scale. The total seedling length was obtained by summing the length values of root and shoot. The application of PAW treatment to seed priming enhanced seedling and shoot lengths, but just a slight decrease in root length was observed as compared to UNT (Table 1). The enhancement of seedling and shoot lengths could be attributed to RONS present in PAW, which played a crucial role in facilitating cell division, improving water and nutrient uptake, and enhancing enzymatic activity /18/. The best growth of seedling and shoot in length was obtained in PAW-5, while the poorest one was found in PAW-10, which was in line with the germination tests.

Table 1: Root length (RL), shoot lengths (SL) and total seedling length (TSL) after the treatments of PAW-5, PAW-10, PAW-15, PAW-20 and both controls – TW, UNT. Means and SE are given. According to Tukey's test, different letters indicate a significant difference at 95% confidence.

Treatments	Parameters					
	RL mean±SE (mm)	Tukey test	SL mean±SE (mm)	Tukey test	TSL mean±SE (mm)	Tukey test
TW	52.54±3.61	a	27.38±3.80	a	78.34±7.02	a
UNT	52.97±3.90	a	26.44±3.49	a	78.06±6.14	a
PAW-5	51.85±3.47	a	32.06±2.72	a	82.79±5.77	a
PAW-10	45.02±3.64	a	31.16±3.18	a	72.77±6.36	a
PAW-15	49.23±2.81	a	31.24±2.18	a	78.41±4.85	a
PAW-20	52.00±3.17	a	28.21±2.50	a	78.89±5.34	a

PAW has been constantly reported to show significant potential in enhancing both the fresh and dry biomass of various seedlings across different plant species /19, 20/, which was also proved by the herbal plant, *S. officinalis*. As shown in Fig 1, both fresh weight (FW) and dry weight (DW) of *S. officinalis* biomass increased consistently in treatments of PAW-5 (FW:

860 mg; DW: 120 mg), PAW-10 (FW: 490 mg; DW: 75 mg), PAW-15 (FW: 630 mg; DW: 85 mg), PAW-20 (FW: 715 mg; DW: 90 mg) and TW (FW: 550 mg; DW: 80 mg) control, relative to UNT (FW: 260 mg; DW: 40 mg) control. Based on these findings, PAW-5 was the most effective enhancer of early seedling growth in *S. officinalis*, while the biomass in PAW-10 still grew less than that in TW control.

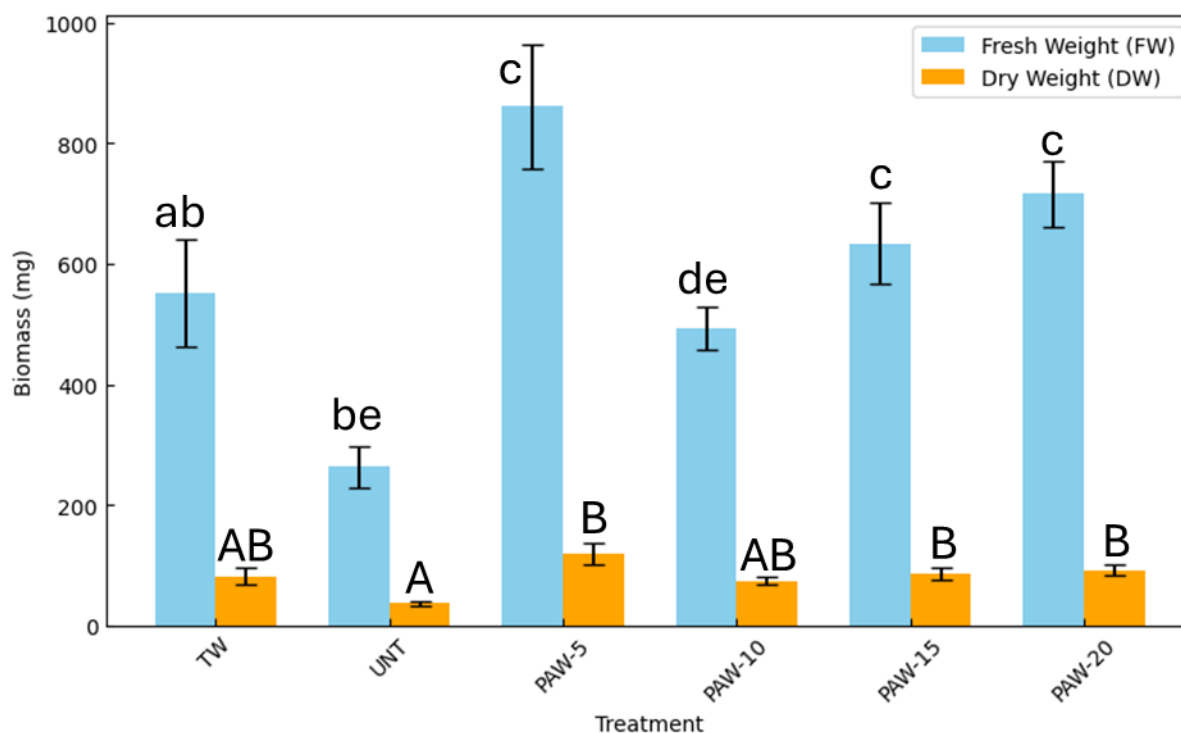


Figure 1: Fresh weight (FW) and dry weight (DW) of *Salvia officinalis* biomass after treatment (TW, UNT, PAW-5, PAW-10, PAW-15, PAW-20); mean and SE are given. According to Tukey's test, different letters indicate a significant difference at 95% confidence.

CONCLUSION

The present study showed that some seed growth parameters (seed germination, seedling elongation and fresh/dry biomass) of *Salvia officinalis* were enhanced by PAW treatments. The PAWs with different exposure time were used to test equal quantity of seeds and compared to observe germination percentage, seedling (root and shoot) length, and fresh and dry biomass weight. Compared to UNT control, all PAW treatments improved the initial growth quality of *S. officinalis*. In contrast to TW control, however, PAW-10 proved less effective than the control and the other treatments still showed higher potency. The experimental results revealed that PAW priming could also stimulate the growth potential of medicinal plants in addition to only enhancement towards agricultural crops, potentially offering a sustainable insight into an effective and ecofriendly cultivation of medicinal plants.

REFERENCES

- /1/ Dastanpoor, N., Fahimi, H., Shariati, M., Davazdahemami, S., Hashemi, S. M. M.: Effects of hydropriming on seed germination and seedling growth in sage (*Salvia officinalis* L.). African Journal of Biotechnology, 12, 2013: 1223-1228.

- /2/ Gur, E., Cetin, M., Ozel, H. B., Guney, K., Sevik, H.: The effect of hormone treatments on germination and seedling characters of sage (*Salvia officinalis* L.) seeds. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 36, 2021: 62-69.
- /3/ Traykova, B., Stanilova, M., Nikolova, M., Berkov, S.: Growth and essential oils of *Salvia officinalis* plants derived from conventional or aeroponic produced seedlings. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84, 2019: 77-81.
- /4/ Inallou, M. M., Ajorlou, Z.: The use of SAS software for analysis of seedling growth in salvia (*Salvia officinalis* L.). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 6, 2012: 476-480.
- /5/ Ghorbanpour, M., Hatami, M.: Biopriming of *Salvia officinalis* seed with growth promoting rhizobacteria affects invigoration and germination indices. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 8, 2014: 29-36.
- /6/ Nasiri, A. A., Mortazaeinezhad, F., Taheri, R.: Seed germination of medicinal sage is affected by gibberellic acid, magnetic field and laser irradiation. *Electromagnetic biology and medicine*, 37, 2018: 50-56.
- /7/ Sönmez, Ç., Gökçöl, A., Şimşek Soysal, A. Ö., Bayram, E., Çelen, A. E.: Research on germination and emergence performance enhancing treatments on sage (*Salvia* spp.) species. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 2019: 504-510.
- /8/ Pal, P., Pal, U. N., Singh, V., Sharma, N. K., Singh, M., Mishra, A., Maurya, S., Lamba, R. P.: Experimental investigation for the generation and characterization of plasma-activated water. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 52, 2024 2137-2143.
- /9/ Zhao, Y. M., Patange, A., Sun, D. W., Tiwari, B.: Plasma-activated water: Physicochemical properties, microbial inactivation mechanisms, factors influencing antimicrobial effectiveness, and applications in the food industry. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19, 2020: 3951-3979.
- /10/ Zhou, R. W., Zhou, R. S., Wang, P., Xian, Y., Mai-Prochnow, A., Lu, X., Cullen, P. J., Ostrikov, K. K., Bazaka, K.: Plasma-activated water: Generation, origin of reactive species and biological applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53, 2020: 303001.
- /11/ Guo, D., Liu, H., Zhou, L., Xie, J., He, C.: Plasma-activated water production and its application in agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 2021: 4891-4899.
- /12/ Šerá, B.: Methodological contribution on seed germination and seedling initial growth tests in wild plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51, 2023: 13164.
- /13/ Doshi, P., Scholtz, V., Khun, J., Thonová, L., Cai, X., Šerá, B.: Non-thermal plasma and hydropriming combined treatment of cucumber and broccoli seeds and the effects on germination and seedling characteristics after short-term storage. *Applied Science*, 15, 2025: 8404.
- /14/ Than, H. A. Q., Pham, T. H., Nguyen, D. K. V., Pham, T. H., Khacef, A.: Non-thermal plasma activated water for increasing germination and plant growth of *Lactuca sativa* L. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 42, 2022: 73-89.
- /15/ Lamichhane, P., Veerana, M., Lim, J. S., Mumtaz, S., Shrestha, B., Kaushik, N. K., Park, G., Choi, E. H.: Low-temperature plasma-assisted nitrogen fixation for corn plant growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 2021: 5360.
- /16/ Wang, J., Cheng, J. H., Sun, D. W.: Enhancement of wheat seed germination, seedling growth and nutritional properties of wheat plantlet juice by plasma activated water. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 2023: 2006-2022.
- /17/ OKE, O. L.: Nitrite toxicity to plants. *Annales de la Nutrition et de L'alimentation*, 212, 1966: 528.
- /18/ Chalise, R., Shrestha, P., Sharma, S., Basnet, S., Mishra, L. N., Khanal, R.: Enhancing seed germination and growth parameters of cauliflower (*Brassica oleracea*, variety Botrytis) using plasma-activated water. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 56, 2023: 505201.
- /19/ Beak, H. K., Priatama, R. A., Han, S. I., Song, I., Park, S. J., Lee, Y. K.: Biomass enhancement and activation of transcriptional regulation in sorghum seedling by plasma-activated water. *Frontiers in Plant Science*, 15, 2024: 1488583.
- /20/ Asghari, A., Sabbaghtazeh, E., Milani, N. R., Kouhi, M., Maralani, A. A., Gharbani, P., Khiaban, A. S.: Effects of plasma-activated water on germination and initial seedling growth of wheat. *PLOS ONE*, 20, 2025: e0312008.

Acknowledgements

The research was supported by the EU project Next Generation EU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V03-00033 (Environmental applications of electrical discharges for water, air cleaning, and agriculture).

PRELOMENIE DORMANCIE SEMIEN HLOHU JEDNOSEMENNÉHO (*CRATAEGUS MONOGYNA* JACQ.) – PREHLADOVÁ ŠTÚDIA

BREAKING SEED DORMANCY OF COMMON HAWTHORN (*CRATAEGUS MONOGYNA* JACQ.) – A REVIEW

Hubert Žarnovičan, Božena Šerá, Jarmila Bokešová, Mustafa Ghulam

*Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina,
Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko, hubert.zarnovican@uniba.sk*

Summary

Common hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq., family *Rosaceae*) is a native woody species of shrubs and forests in Slovakia. In addition to its ecological functions, it is known for its medicinal properties and is used in landscape architecture and horticulture. A long-standing issue is the propagation of hawthorn, as its seeds have relatively low germination rates due to both exogenous and endogenous dormancy. Its increase is possible through pre-sowing seed preparation. The paper provides an overview of the methods used to break seed dormancy of *C. monogyna*. The most commonly used methods include warm and cold stratification and scarification with sulfuric acid. The best germination results for *C. monogyna* seeds are achieved with a combination of warm and cold stratification.

Key words: stratification, scarification, germination, seed, endocarp

Súhrn

Hloh jednosemenný (*Crataegus monogyna* Jacq., čeľaď *Rosaceae*) je pôvodnou drevinou krovín a lesov Slovenska. Popri ekologických funkciách sú známe jeho liečivé vlastnosti, používa sa v krajinnej architektúre a záhradníctve. Dlhodobým problémom je rozmnožovanie hlohu, ktorého semená vďaka exogénnej a endogénnej dormancii dosahujú relatívne nízku klíčivosť. Jej zvýšenie je možné predsejbovou prípravou semien. V príspevku podávame prehľad metód používaných na prelomenie dormancie semien *C. monogyna*. K najčastejšie používaným metódam patria teplá a studená stratifikácia a skarifikácia kyselinou sírovou. Najlepšie výsledky klíčivosti semien *C. monogyna* boli dosiahnuté pri kombinácii teplej a studenej stratifikácie.

Kľúčové slová: stratifikácia, skarifikácia, klíčivosť, semeno, osemenie

ÚVOD

Hloh jednosemenný (*Crataegus monogyna* Jacq., čeľaď *Rosaceae*) je ker, zriedkavo strom, dorastajúci do výšky 10 m. Listy má jednoduché, delené, obojpohlavné kvety sú zoskupené do chocholíkov. Plodom je malvica obsahujúca jedno semeno /1, 2, 3/. Druh je morfológicky značne variabilný /1/.

Areál prirodzeného rozšírenia *C. monogyna* sa rozprestiera od západného pobrežia Európy, na severe po Škandinávsky polostrov, na východe do európskej časti Ruska. Juh areálu sa tiahne severnou Afrikou, cez Sinajský polostrov, sever Arabského polostrova, po Malú Áziu a Kaukaz. Ako introdukovaný druh je známy zo západnej a východnej časti Severnej Ameriky, juhu Južnej Ameriky, juhu Afriky, východnej a južnej Austrálie a Nového Zélandu /4/.

C. monogyna nevykazuje špecifické nároky na pôdnu vlhkosť, o čom svedčí jeho výskyt na zamokrených, mezických aj vysychavých pôdach. Na Slovensku sa vyskytuje v širokom spektre krovinových a lesných spoločenstiev. Bol zaznamenaný v krovitých vrbových porastoch mokradí, aj teplomilných krovinových spoločenstvách. Vyskytuje sa v prípotočných jelšových lesoch, v teplomilných dubových lesoch, dubovo-hrabových, bukových, sutinových, agátových a borovicových lesoch /5/. Vďaka trnám chrániacim hloh pred ohryzom sa úspešne etabluje na pastvinách /6/. Plody hlohu sú potravou vtáctva (napr. *Turdus* sp.), ktoré rozširujú jeho semená v krajine /7, 8/.

C. monogyna spolu s ďalšími zástupcami rodu majú aj hospodársky význam. Využívajú sa ako liečivé rastliny podporujúce činnosť srdca a ovplyvňujúce krvný tlak, vybrané odrody sú pestované v sadoch kvôli plodom vhodným na priamu konzumáciu alebo ďalšie potravinárske spracovanie /9, 10/. Sadenice hlohov používajú ovocinári ako podpníky určené na štepenie alebo očkovanie napr. *Mespilus germanica*, alebo ušľachtilých odrôd hlohov ako *Crataegus orientalis* subsp. *pojarkovae*, *C. pinnatifida*, *C. pedicellata*. Podpníky dopestované zo semien *C. monogyna* vynikajú dlhovekosťou (vrátane ich štepencov a očkovancov), odolnosťou voči suchu a fyziologickými vlastnosťami cennými z pohľadu ovocinárskej praxe (možnosť ich očkovať až do augusta). Sadenice *Crataegus* sp. sa okrem uvedeného vysádzajú v živých plotoch v mestskom aj vidieckom prostredí.

Dlhodobým problémom zostáva rozmnožovanie hlohov. Keďže vegetatívne rozmnožovanie neprináša požadované výsledky, častejšie sa používa generatívne rozmnožovanie /11/. Klíčivosť semien *Crataegus* sp. je ovplyvnená exogénnou dormanciou (spôsobenou tvrdým endokarpom) a endogénnou dormanciou (determinovanou fyziologickým stavom embrya) /10/. Prelomenie dormancie si vyžaduje stanovenie režimu predsejbovej prípravy semien pre dosiahnutie čo najvyššej klíčivosti. V súvislosti s významom pestovania semenáčikov hlohu pre ovocinársku a krajínovú prax sme sa v príspevku zamerali na zostavenie prehľadu metód najčastejšie používaných na prelomenie dormancie semien *C. monogyna*.

SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Faktory ovplyvňujúce klíčivosť semien *C. monogyna*

Na dormanciu semien *C. monogyna* má vplyv niekoľko faktorov. Jedným z nich je obdobie zberu plodov. Plody by mali byť zberané na jeseň (október), teda v čase ich plnej zrelosti /12, 13/. U plne zrelej semien boli stanovené najvyššie hodnoty klíčivosti v porovnaní s nezrelymi /12/. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim klíčivosť semien *C. monogyna* je ich vlhkosť, pričom lepšie výsledky boli pozorované u semien, ktorých vlhkosť bola znížená sušením, v porovnaní s nesusušenými /12, 14/.

Vzhľadom k tvrdému endokarpu a fyziologickej dormancii semien *C. monogyna* sa na zlepšenie ich klíčivosti používa predsejbová príprava napr. V podobe stratifikácie a skarifikácie.

Stratifikácia

K najúčinnnejším metódam na prelomenie dormancie semien *C. monogyna* patrí teplá a studená stratifikácia a ich kombinácia /11, 12, 14, 15/. Podľa Crocker a Barton /16/ počas teplej stratifikácie dochádza k narušeniu tvrdého endokarpu semien mikroorganizmami. Tým sa zvýši jeho priepustnosť pre vodu a vytvoria sa priaznivé podmienky pre prelomenie fyziologickej dormancie embryí počas následnej studenej stratifikácie. Baskin et al. /17/ tieto tvrdenia nepovažujú za dostatočne podložené a navrhujú overiť priepustnosť endokarpu semien štúdiom ich imbibície. Na pozitívny vplyv imbibície na prelomenie dormancie na príklade semien *Crataegus sinaica* poukazujú Aly et al. /18/. Podľa Baskin et al. /17/ je teplá stratifikácia súčasťou prelomenia fyziologickej dormancie semien, čo dokumentujú na štúdiu podpory klíčenia semien *Empetrum hermaphroditum*.

Kheloufi et al. /14/ stratifikovali semená *C. monogyna* vo vlhkom piesku 4 mesiace pri teplotách 4, 6,5, 10 a 20 °C, pričom najvyššie hodnoty klíčivosti dosiahli pri teplote 4 °C (76 %). Bujarska-Borkowska /12/ dosiahla najvyššiu klíčivosť pri kombinácii teplej a studenej stratifikácie v zmesi piesku a rašeliny v režimoch teplej stratifikácie 16 týždňov: 25 °C, 20 ~ 30 °C (16 + 8 hod./deň) a 20 ~ 30 °C (24 + 24 hod.), po ktorých nasledovalo 14 – 18 týždňov studenej stratifikácie pri 3 °C (89 %, 96 % a 89 %). Použitím podobných režimov dosiahla Bujarska-Borkowska /19/ priaznivé výsledky aj u semien druhu *C. laevigata*. Podobne Persson et al. /15/ použili kombináciu teplej a studenej stratifikácie, pričom najvyššiu klíčivosť dosiahli pri 112 dňoch teplej stratifikácie (75 %). Morgenson /20/ aplikoval kombináciu teplej a studenej stratifikácie u troch druhov hlohov (*C. mollis*, *C. × anomala* a *C. chrysocarpa*), pričom sa klíčivosť jednotlivých druhov líšila v odpovedi na použité dĺžky teplej a studenej stratifikácie.

Skarifikácia

Často používanou metódou na prelomenie dormancie semien s tvrdým osemením je skarifikácia kyselinou sírovou /12, 13, 21, 22/. Jej pôsobením dochádza k narušeniu-stenčeniu endokarpu, a tým oslabeniu mechanických a fyziologických bariér spomaľujúcich nástup klíčenia. Mieru stenčenia osemenia druhov *C. crus-galli*, *C. laevigata* a *C. monogyna* kyselinou sírovou experimentálne stanovili Drvodelić et al. /22/. Pre voľbu optimálneho režimu skarifikácie (chemickej aj mechanickej) je nevyhnutné poznať hrúbku osemenia /13, 22/. Gokturk et al. /13/ analyzovali hrúbku endokarpu semien piatich druhov hlohov: *C. microphylla*, *C. monogyna*, *C. orientalis*, *C. pontica* a *C. pseudoheterophylla*. Zistili nielen medzidruhovú variabilitu v jeho hrúbke, ale aj nejednotnosť hrúbky u jednotlivých semien toho istého druhu. Vzhľadom k interšpecifickým rozdielom v plodoch a semenách jednotlivých druhov hlohov je dôležitá správna determinácia jedincov určených pre odber plodov. V tejto súvislosti treba brať do úvahy už spomínanú druhovú variabilitu a častú hybridizáciu zástupcov rodu hloh /23/. Vplyv skarifikácie kyselinou sírovou na klíčivosť semien *C. monogyna* skúmali Göktürk a Yildirim /21/. U semien máčaných v kyseline sírovej 1, 3 a 6 hodín stanovili klíčivosť 18.98 %, 5.04 % a 16.09 %.

K zriedkavejšie používaným metódam chemickej skarifikácie patrí máčanie semien v etanole, peroxide vodíka alebo roztoku popola. Pri ich použití ale nebol zistený významnejší vplyv na zvýšenie klíčivosti *C. monogyna* /21/.

Pri mechanickej skarifikácii sa semená obrusujú buď manuálne brúsnym papierom, alebo sa premiešavajú s kemitým pieskom, ktorého abrazívnym účinkom dochádza k narušeniu endokarpu. Premiešavanie s pieskom je postup bežne používaný v lesnom semenárstve na predsejbovú prípravu semien drevín s tvrdým osemením /24/. Zvýšenie klíčivosti semien *C. monogyna* vplyvom mechanického narušenia/odstránenia endokarpu dosiahli Persson et al. /15/.

Kombinované metódy predsejbovej prípravy semien *C. monogyna*

V rámci predsejbovej prípravy sa chemická skarifikácia môže kombinovať napr. so studenou stratifikáciou. Bujarska-Borkowska /12/ použila nasledujúce režimy kombinácie skarifikácie semien *C. monogyna* kyselinou sírovou a studenej stratifikácie: 45 min H_2SO_4 , 3 °C (13 týždňov), 120 min. H_2SO_4 , 3 °C (10 týždňov) a 120 min. H_2SO_4 , 3 °C (23 týždňov). Stanovená klíčivosť (65 %, 79 %, 51 %) ale nedosiahla hodnoty stanovené pri kombinácii teplej a studenej stratifikácie. Göktürk a Yildirim /21/ kombinovali skarifikáciu semien *C. monogyna* kyselinou sírovou a roztokom popola v režimoch: 1, 3 a 6 hod. H_2SO_4 , po ktorej nasledovala 48 alebo 144 hod. skarifikácia v roztoku popola (27.14 %, 22.78 %, 31.4 % a 12.21 %, 25.93 %, 24.41 %). Obideen et al. /25/ pri kombinácii skarifikácie semien *C. monogyna* v zriedenej (50 %) a koncentrovanej H_2SO_4 1 a 2 hod., s teplou (2 mesiace pri 20 – 25 °C) a studenou stratifikáciou (3 mesiace pri 4 °C), stanovili klíčivosť na 26.67 %, 50 % (zriedená H_2SO_4), resp. 30 % a 53.33 % (koncentrovaná H_2SO_4).

ZÁVER

Z uvedeného stručného prehľadu doteraz použitých metód na prelomenie dormancie semien *C. monogyna* považujeme za dôležité sa v našom budúcom výskume zamerať na:

- i. stanovenie imbibičnej schopnosti semien *C. monogyna*,
- ii. stanovenie vplyvu mechanickej skarifikácie samostatne a v kombinácii s inými typmi predsejbovej prípravy na klíčivosť semien *C. monogyna*.

LITERATÚRA

- /1/ Baranec, T. Bertová, L.: *Crataegus* L. In: Bertová, L. ed. Flóra Slovenska IV/3, Veda, Bratislava, 1992: 465–492.
- /2/ Chytrý M., Danihelka J., Kaplan Z., Wild J., Holubová D., Novotný P., Řezníčková M., Rohn M., Dřevojan P., Grulich V., Klimešová J., Lepš J., Lososová Z., Pergl J., Sádlo J., Šmarda P., Štěpánková P., Tichý L., Axmanová I., Bartušková A., Blažek P., Chrtek J. Jr., Fischer F. M., Guo W.-Y., Herben T., Janovský Z., Konečná M., Kühn I., Moravcová L., Petřík P., Pierce S., Prach K., Prokešová H., Štech M., Těšitel J., Těšitelová T., Večeřa M., Zelený D., Pyšek P.: *Pladias Database of the Czech Flora and Vegetation*. Preslia, 93, 2021: 1–87.
- /3/ www.pladias.cz
- /4/ Powo (2025) *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:723820-1> (accessed 16. 7. 2025)
- /5/ Valachovič M., Kliment J., Hegedúšová Vantarová K. eds.: *Rastlinné spoločenstvá Slovenska. 6. Vegetácia lesov a krovín*. Veda, Bratislava, 2021: 768 pp.

- /6/ Van Uytvanck, J., Decler, K., Hoffmann, M.: Establishment patterns of woody species in low intensity-grazed pastures after the cessation of intensive agricultural use. *Forest Ecology and Management*, 256, 2008: 106–113.
- /7/ Krefting L.W., Roe E.I.: The role of some birds and mammals in seed germination. *Ecological monographs*, 19(3), 1949: 271–278.
- /8/ Williams, P.A., Kean, J.M., Buxton, R.P.: Multiple factors determine the rate of increase of an invading non-native tree in New Zealand. *Biological Invasions*, 12, 2010: 1377–1388.
- /9/ Özcan, M., Haciseferoğullari, H., Marakoğlu, T., Arslan, D.: Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*, 69, 2005: 409–413.
- /10/ Sümbül, A., Yaman, M., Topcu, Y.: Effects of different treatments on germination capacity of hawthorn (*Crataegus* spp.) seeds. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 7(1), 2024: 1–7.
- /11/ Mohammed, A.A.: A review of breaking seed dormancy in hawthorns (*Crataegus* spp.). *International journal of advanced research*, 11(2), 2023: 495–500.
- /12/ Bujarska-Borkowska, B.: Breaking of seed dormancy, germination and seedling emergence of the common hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.). *Dendrobiology*, 47, 2002: 67–70.
- /13/ Gokturk, A., Guner, S., Yildirim, F.: Seed properties of hawthorn (*Crataegus* sp.) species and effects of sulphuric acid pretreatments on seed coat thickness. In: VIII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2017", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 2017. Book of Proceedings. Faculty of Agriculture, University of East Sarajevo, 2017: 733–738.
- /14/ Kheloufi, A., Mansouri, L.M., Vanbellinghen, C.: Seed germination of *Crataegus monogyna* – a species with a stony endocarp. *Reforesta*, 7, 2019: 73–80.
- /15/ Persson, L., Jensen, M., Eriksen, E.N., Mortensen, L.C.: The effect of endocarp and endocarp splitting resistance on warm stratification requirement of hawthorn seeds (*Crataegus monogyna*). *Seed Science and Technology*, 34(3), 2006: 573–584.
- /16/ Crocker, W., Barton L.V.: *Physiology of seeds*. Chronica Botanica, Waltham, Massachusetts, 1957: 268 pp.
- /17/ Baskin, C.C., Zackrisson, O., Baskin, J.M.: Role of warm stratification in promoting germination of seeds of *Empetrum hermaphroditum* (Empetraceae), a circumboreal species with a stony endocarp. *American Journal of Botany*, 89(3), 2002: 486–493.
- /18/ Aly, H., Mahmoud, S., El-Bakry, A.: Efficient in vitro germination of the endangered Sinai hawthorn (*Crataegus sinaica*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 160, 2025: 67.
- /19/ Bujarska-Borkowska, B.: Seed dormancy breaking in *Crataegus laevigata*. *Dendrobiology*, 56, 2006: 3–11.
- /20/ Morgenson, G.: Effects of cold stratification, warm-cold stratification, and acid scarification on seed germination of 3 *Crataegus* species. *Tree Planters Notes*, 49(3), 2000: 72–74.
- /21/ Göktürk, A., Yildirim, F.: Determination of Seed Morphologies and Effect of Pretreatments on Germination of *Crataegus monogyna* (Jac.) and *Crataegus azarolus* var. *pontica* (K. Koch) KI Chr Seeds. Kastamonu University, *Journal of Forestry Faculty*, 20(2), 2020: 181–189.
- /22/ Drvodelić, D., Oršanić, M., Španjol, E., Vuković, M., Jemrić, T.: Fruit and seed morphological traits and duration effect of sulfuric acid seed scarification on some *Crataegus* Tourn. ex L. species. *Šumarski list*, 3–4, 2024: 129–135.
- /23/ Kuhn, T., Györfi, O., Ruprecht, E.: Seedling performance, allocation patterns and phenotypic plasticity of two sympatric hawthorn species and their natural hybrid. *Flora*, 287, 2022: 151994.
- /24/ Šmelková, L. 2009: *Zakladanie lesa*. Technická univerzita vo Zvolene: 339 pp.
- /25/ Obideen, R., Alhasan, A., Draie, R.: Effect of Some Treatments on Seed and Vegetative Propagation of Hawthorn (*Crataegus* spp.) in Northwestern Syria. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 8(10), 2024: 39–46.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol s finančnou podporou projektu Európskej únie NextGenerationEU, Plánu obnovy a odolnosti projektu č. 09I03-03-V02-00036 a grantu Vega č. 1/0255/23. Naša vďaka patrí aj Ing. Ľudovítovi Vaššovi za odborné poradenstvo.

VPLYV VÝHONKOV REPY NA RAST A FYZIOLOGIU OVSA SIATEHO

IMPACT OF BEET SHOOTS ON GROWTH AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF OAT

Beáta Piršelová¹, Nikola Kanássová¹, Peter Hozlár², Lucia Spurinová¹

¹ *Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, FPVaI, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie
mládeže 91, 949 74 Nitra, bpirselova@ukf.sk, Slovenská republika*

² *Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum. Hlohovecká 2 951 41 Lužianky,
Slovenská republika*

Summary

The tested oat cultivars responded differently to the addition of beet shoot dry matter (20 g/kg) into the soil. The Bay Yan 2 cultivar was not significantly affected by the beet shoots. In the shoots of the Racoon, Ivory, and Aragon cultivars, the content of available nitrogen increased by 2.10 %, 18.9 %, and 11.72 %, respectively, while the flavonoid content decreased by 4.43 %, 29.40 %, and 12.47%. Chlorophyll content increased by 16.37 % and 24.14 % in the shoots of the Racoon and Aragon cultivars. The Aragon cultivar showed a significant decrease in biomass (by 28.68 %) and shoot length (by 15.38 %). On the other hand, the Racoon cultivar exhibited a significant increase in biomass (by 43.42 %). Among the tested cultivars, a clearly positive effect of beet shoots was observed in the Racoon and Ivory cultivars.

Key words: Avena sativa, Beta vulgaris, growth, physiology

Súhrn

Testované odrody ovsa reagovali na pridané množstvo sušiny výhonkov repy (20 g/kg) do pôdy rôzne. Odroda Bay Yan 2 nebola výraznejšie ovplyvnená výhonkami repy. Vo výhonkoch odrôd Racoon, Ivory a Aragon sa zvýšil obsah dostupného dusíka o 2,10; 18,9 a 11,72%, naopak znížil obsah flavonoidov o 4,43; 29,40 a 12,7%. Obsah chlorofylov vzrástol o 16,7 % a 24,14 % vo výhonkoch odrôd Racoon a Aragon. Odroda Aragon vykazovala signifikantný pokles biomasy (o 28,68 %) a dĺžky výhonkov (o 15,38%). Signifikantný nárast biomasy (o 43,42 %) vykazovala odroda Racoon. Z testovaných odrôd bol jednoznačný pozitívny vplyv výhonkov repy zaznamenaný pri odrodách Racoon a Ivory.

Kľúčové slová: ovos siaty, repa obyčajná, rast, fyziológia

ÚVOD

V súčasnosti rastie záujem o využívanie prírodných látok a biologicky aktívnych zložiek rastlinného pôvodu na podporu rastu a vývinu poľnohospodárskych plodín. Medzi takéto látky patria aj sekundárne metabolity produkované rastlinami, ktoré môžu pôsobiť ako rastové stimulatory alebo inhibitory. Výhonky repy (*Beta vulgaris*) predstavujú potenciálny zdroj takýchto látok, no ich účinky na iné rastlinné druhy zostávajú relatívne málo preskúmané. V

pletivách repy bolo identifikovaných a kvantifikovaných osem fenolických zložiek, ako je šikimová kyselina, gáfor, kyselina hydroxybenzoová, p-kumarová, vanilínová, a taktiež stopové množstvá kumarínu a protokatechovej kyseliny /1/. Zistilo sa, že tieto látky zohrávajú dôležitú úlohu v alelopatických interakciách a výrazne vplývajú na rast niektorých obilnín a burín /2/. Alelochemikálie sú prítomné tak v koreňoch ako aj výhonkoch, pričom alelopatický účinok extraktov z týchto častí rastlín môže byť odlišný /3/. Cieľom práce je zhodnotiť, či prítomnosť repných výhonkov môže ovplyvniť rast a fyziológiu ovsa. Výsledky môžu prispieť k lepšiemu pochopeniu alelopatických interakcií a potenciálneho využitia repných výhonkov v osevných systémoch ako prírodného prostriedku na reguláciu rastu.

MATERIÁL A METÓDA

V rámci experimentov sme testovali účinok sušiny výhonkov repy krmnej - bučiansky žltý valec (*Beta vulgaris* var. *Rapacea*) na rast vybraných odrôd ovsa siateho (*Avena sativa* vars. Bay Yan 2, Racoon, Ivory, Aragon). Semená (15/variant) ovsa boli zasiate do pôdneho substrátu (KLASMAN TS2) obohateného o sušinu výhonkov repy v dávke 20 g.kg^{-1} . Kontrolný variant predstavovali črepníky naplnené pôdnym substrátom bez prídavku sušiny repy. Rastliny boli kultivované v skleníku s priemernou dennou a nočnou teplotou $20/12 \text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzitou ožiarenia $10\,300 \text{ luxov}$ a boli zalievané podľa potreby. Po 22 dňoch boli výhonky oddelené od koreňov a boli podrobené ďalším analýzám. Dĺžka výhonkov bola stanovená pravítkom, obsah sušiny bol stanovený vážením po vysušení výhonkov pri $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ počas 48 hodín. Obsah asimilačných pigmentov bol stanovený spektrofotometricky v acetónovom extrakte pri vlnových dĺžkach 663, 646 a 470 nm /4/. Index dusíkovej bilancie (NBI) a flavonoid index boli merané prístrojom MPM-100 (Opti-Sciences, Hudson, USA).

Získané údaje boli štatisticky spracované pomocou programu MS EXCEL. Významnosť rozdielov oproti kontrole bola hodnotená Studentovým t-testom. Korelácie medzi parametrami boli hodnotené pomocou Spearmanovej korelačnej analýzy.

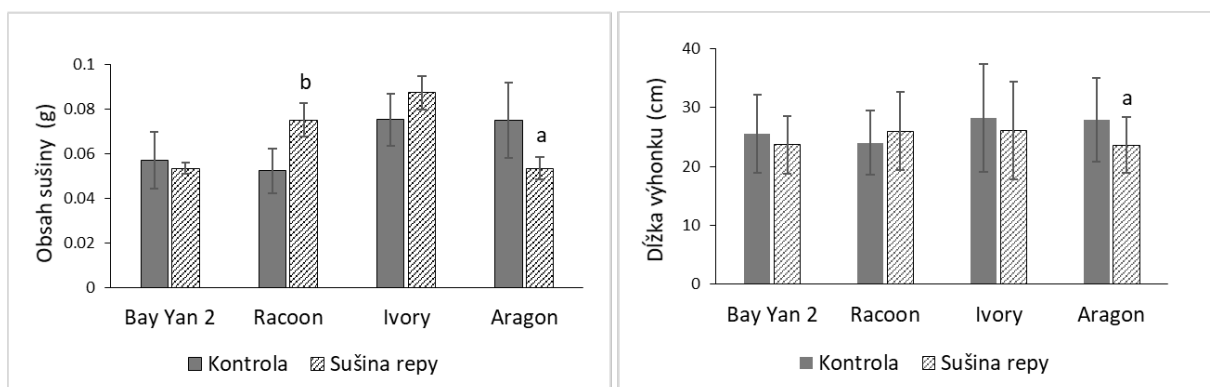
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vplyvom aplikovanej dávky sušiny výhonkov repy došlo k nepatrným zmenám k predlžovacieho rastu výhonkov ovsa, so signifikantným poklesom dĺžky výhonkov (o 15,38 %) v prípade odrody Aragon (Graf 1). V prípade tejto odrody došlo zároveň k poklesu suchej biomasy (o 28,68 %, Graf 1). Naopak, k nárastu biomasy výhonkov ovsa o 43,42 % a 16,13 % došlo v prípade odrôd Racoon a Ivory (Graf 1). Zmeny v biomase výhonkov silno pozitívne korelovali so zmenami v dĺžke výhonkov ($R=0,932$). Odroda Bay Yan 2 nebola výraznejšie ovplyvnená výhonkami repy, pri tejto odrode sme zaznamenali skôr mierny nesignifikantný pokles v meraných parametroch (Grafy 1 a 2).

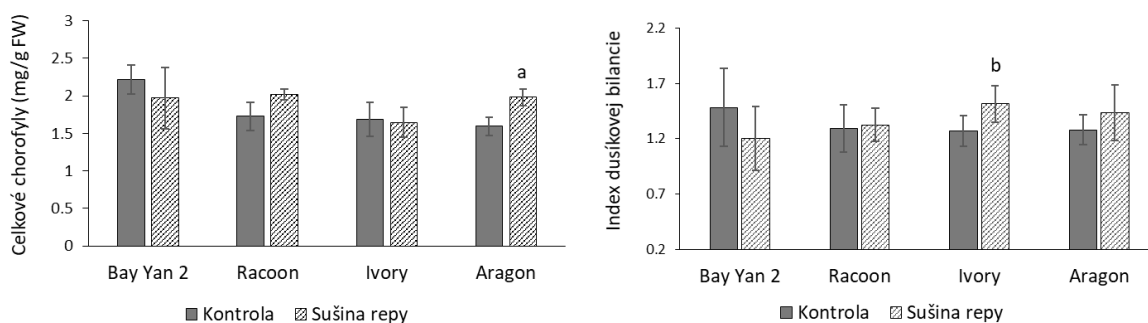
Aplikáciou sušiny výhonkov repy do pôdy sa tiež zvýšil obsah dostupného dusíka pre odrody Racoon, Ivory a Aragon (zvýšenie NBI o 2,10; 18,9 a 11,72%) (Graf 2) a naopak znížil obsah flavonoidov o 4,43; 29,40 a 12,47% (Graf 3). Tieto dva parametre boli v silnom negatívnom vzťahu ($R=-0,991$). Index dusíkovej bilancie (NBI) je pomer medzi obsahom chlorofylu a flavonoidov. Pomocou NBI je možné určiť dusíkový stav rastliny a predpovedať úrodu plodín. Flavonoidy sa hromadia ako **obránné látky**, keď má rastlina málo dusíka (alebo

iný stres) /5/. Obsah chlorofylov vzrástol o 16,37 % a 24,14 % vo výhonkoch odrôd Racoon a Aragon (Graf 2).

Inhibícia rastu a zvýšený obsah chlorofylov v prípade odrody Aragon naznačuje možný mechanizmus presmerovania energie na dôležitejšie funkcie (tzv. trade-off). Rastlina môže alokovať viac dusíka do fotosyntetických enzýmov (napr. Rubisco), čím sa zlepši fotosyntéza, ale menej dusíka ostáva na budovanie štrukturálnych pletív (napr. koreňov, stoniek → rast sa spomalí) /6/.

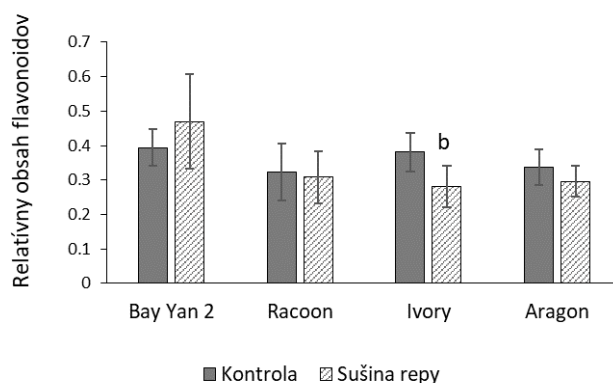


Graf 1: Vplyv sušiny výhonkov repy (20 g/kg pôdy) na suchú biomasu a dĺžku výhonkov ovsa siateho. Údaje zodpovedajú aritmetickému priemeru $\pm$ SDEV. Štatisticky významný rozdiel oproti kontrole pri $p < 0.05$ (a) a pri $p < 0.01$ (b).



Graf 2: Vplyv sušiny výhonkov repy (20 g/kg pôdy) na celkový obsah chlorofylov a index dusíkovej bilancie listov ovsa siateho. Údaje zodpovedajú aritmetickému priemeru $\pm$ SDEV. Štatisticky významný rozdiel oproti kontrole pri $p < 0.05$ (a) a pri $p < 0.01$ (b). FW – čerstvá hmotnosť výhonkov.

Pozitívny účinok extraktov z buľvy repy cukrovej bol tiež zaznamenaný na rast a fyziológiu pšenice /7/. Naopak, extrakty, ako aj sušina repy, pôsobia inhibične na rast jačmeňa /8/.



Graf 3: Vplyv sušiny výhonkov repy (20 g/kg pôdy) na relatívny obsah flavonoidov v listoch ovsa siateho. Údaje zodpovedajú aritmetickému priemeru $\pm$ SDEV. Štatisticky významný rozdiel oproti kontrole pri $p < 0.01$ (b).

ZÁVER

Analýza preukázala, že pridanie sušiny výhonkov repy obvyčajnej do pôdy môže mať v prípade niektorých odrôd ovsa (Racoon a Ivory) pozitívny vplyv na produkciu biomasy. Tento efekt poukazuje na potenciálne využitie repných výhonkov v osevných postupoch ako prírodný stimulant rastu. Otázne však zostáva, či ide skutočne o alelopatický účinok repy – teda pôsobenie biologicky aktívnych látok ovplyvňujúcich rast iných rastlín – alebo len o všeobecný prísun organických látok do pôdy, ktorý zlepšil výživu a štruktúru pôdneho prostredia. Na objasnenie tohto mechanizmu sú potrebné ďalšie ciele experimenty.

LITERATÚRA

- /1/ Hegabet, M.M., Khodary, S.E.A., Hammoud, O., Ghareib, H.R.: Autotoxicity of chard and its allelopathic potentiality on germination and some metabolic activities associated with growth of wheat seedlings. *African Journal of Biotechnology*, 7, 2008: 884–892.
- /2/ Dadkhah, A.: Phytotoxic potential of sugar beet (*Beta vulgaris*) and eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) to control purslane (*Portulaca oleracea*) weed. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. – Soil & Plant Science*, 63, 2013: 46–51.
- /3/ Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z., Wahid, A., Siddique, K.H.M.: The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*, 67, 2011: 493–506.
- /4/ Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R.: Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 603, 1983: 591–603.
- /5/ Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., Yuan, F.: Improving maize nitrogen nutrition index prediction using leaf fluorescence sensor combined with environmental and management variables. *Field Crops Research*, 269, 2021: 108180.
- /6/ He, Z., Webster, S., He, S.Y.: Growth–defense trade-offs in plants. *Current Biology*, 32, 2022: 589–683.
- /7/ Noman, A., Ali, Q., Naseem, J., et al.: Sugar beet extract acts as a natural bio-stimulant for physio-biochemical attributes in water stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* 40, 2018: 110
- /8/ Miri, H.R.: Allelopathic potential of various plant species on *Hordeum spontaneum* L. *Advances in Environmental Biology*, 5, 2011: 3543–3549.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory výskumného zámeru VEGA 2/0034/25: Genetická diverzita a patogenita vybraných húb kolonizujúcich *Pinus* sp. a KEGA 015UKF-4/2024: Aktivizujúce vyučovacie metódy v prírodovednom vzdelávaní s implementáciou digitálnych technológií.

ZMENY OBSAHOV MAKROŽIVÍN A MIKROŽIVÍN V RAŠELINE PO PRIDANÍ DREVNÉHO POPOLA

CHANGES IN THE MACROELEMENT AND MICROELEMENT AMOUNTS IN THE PEAT AFTER THE ADITION OF WOOD ASH

Jana Luptáková, Laura Korčoková, Slávka Tóthová, Ivan Horvát, Vladimír Mačejovský,
Elena Takáčová, Helena Hybská*

Národné lesnícke centrum, Sekcia pre vedu a výskum, T. G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen,
jana.luptakova@nlcsk.org, laura.korcokova@nlcsk.org, slavka.tothova@nlcsk.org,
ivan.horvat@nlcsk.org, vladimir.macejovsky@nlcsk.org, elena.takacova@nlcsk.org

*Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, hybska@tuzvo.sk

Summary

A large amount of wood ash is generated during energy production by burning biomass. Currently, most of this wood ash is landfilled. In order to reduce the amount of landfilled wood ash, it is necessary to find ways to recycle it. The wood ash used in this work contained much more of all monitored macronutrients and micronutrients except iron than peat, due to which the contents of these elements increased significantly after the addition of wood ash to peat. In mixtures of peat with wood ash, there were gradual changes in the content of monitored elements over time, some decreased and some increased.

Key words: wood ash, peat, macronutrients, micronutrients

Súhrn

Veľké množstvo drevného popola vzniká pri výrobe energie spaľovaním biomasy. V súčasnosti sa väčšina tohto drevného popola skládkuje. Za účelom zníženia množstva skládkovaného drevného popola je nevyhnutné hľadať spôsoby jeho recyklácie. Drevný popol použitý v tejto práci obsahoval oveľa viac všetkých sledovaných makroživín a mikroživín okrem železa ako rašelina, vďaka čomu sa po prídavku drevného popola do rašeliny signifikantne zvýšili obsahy týchto prvkov. V zmesiach rašeliny s drevným popolom dochádzalo časom k postupným zmenám v obsahu sledovaných prvkov, niektoré sa znížili a niektoré zvýšili.

Kľúčové slová: drevný popol, rašelina, makroživiny, mikroživiny

ÚVOD

Drevný popol pozostáva z organických a anorganických reziduí, ktoré vznikajú pri spálení dreva. V priemere tvorí vzniknutý drevný popol 6 - 10 % hmotnosti z hmotnosti spáleného dreva /9/. Celosvetovo je produkcia drevnej biomasy približne 4600 miliónov ton za rok, z toho 60 % sa používa na výrobu energie /13/. V súčasnosti sa väčšina popolov skládkuje, čo zaberá pôdu, ovplyvňuje krajinu a tým aj životné prostredie /10/. Poplatky za skládkovanie sa neustále zvyšujú je čoraz ťažšie nájsť ďalšie miesta vhodné na skládkovanie. Je potrebné

nájsť vhodné spôsoby recyklácie drevného popola za účelom zníženia jeho skládkovania podľa princípov cirkulárnej ekonomiky /12/. Drevný popol je možné využiť ako hnojivo, alebo hnojivú prímes v kompostoch a substrátoch vďaka obsahu mnohých výživových prvkov potrebných pre rast rastlín, hlavne vápnik, fosfor, draslík a horčík, v menších množstvách aj mangán, železo, zinok, sodík a bór, /1,14/. Vďaka svojej silne zásaditej povahe môže byť drevný popol použitý aj na zníženie acidifikácie lesných pôd /2/.

Vlastnosti drevného popola, ako obsah živín, ťažkých kovov, zlúčeniny v ktorých sa vyskytujú a s tým súvisiace hodnoty pH popola, závisia od mnohých faktorov. Kvalita drevného popola závisí hlavne od druhu, časti a veku spaľovanej dreveniny, stanovišťa, na ktorom vyrástla, od druhu použitého paliva od technológie spaľovania a od miesta zachytu /11/.

V Národnom lesníckom centre vo Zvolene prebieha medzinárodný projekt Upgrade LignoSilva (Horizon Europe), ktorého súčasťou je aj recyklácia živín z drevného popola v lesníctve. Cieľom projektu je navrhnúť postupy výroby kompostov, substrátov a hnojív z celulózových kalov a drevných popolov a overiť rôzne spôsoby ich testovania na semenách aj sadeniciach lesných drevín v laboratórnych, poloprevádzkových a agrolesníckych systémoch. Zároveň zlepšiť transfer vedeckých poznatkov o aplikácii drevného popola ako hnojiva do praxe a tým znížiť jeho skládkovanie v zmysle princípov cirkulárnej bioekonomiky /4/.

V rámci projektu bolo založených niekoľko experimentov v Biotechnologickom parku Stráže (BTP Stráže) a vo Výskumnej stanici v Gabčíkove (VS Gabčíkovo) /5/.

Tento príspevok je zameraný na zhodnotenie množstva makroživín v rašelini po pridaní drevného popola. Cieľom práce je zhodnotiť množstvo makroživín, ktoré je možné získať touto formou recyklácie drevného popola.

MATERIÁL A METÓDY

Materiál

Popol použitý v experimente bol získaný z prevádzky spaľujúcej drevnú štiepku za účelom výroby energie, nachádzajúcej sa v Hriňovej (Hriňovská energetická s. r. o.) na Slovensku. Použil sa iba roštový popol, ktorý obsahuje menej výživových prvkov, ale aj menej rizikových prvkov. Na tento druh popola získal producent povolenie, že môže byť použitý ako pôdna pomocná látka. Na prípravu substrátov bola použitá komerčne dostupná rašelina od producenta Gramoflor GmbH & Co KG. Substráty boli pripravené zmiešaním v plastovej nádobe v dvoch pomeroch a to 0,5 kg popola na 1 kg rašeliny (RPM) a 0,75 kg popola na 1 kg rašeliny (RP+). Tieto substráty boli naplnené do sadbovačov, umiestnené do plnoautomaticky zavlažovaného fóliovníka a následne boli zasadené semená borovice lesnej. Vzorky boli odoberané v pravidelných intervaloch v štyroch replikátoch.

Predúprava vzoriek

Vzorky boli po prijatí do laboratória predupravené podľa ČSN ISO 11464 /3/. Tento postup zahŕňa sušenie, drvenie a sitovanie vzoriek. Všetky analýzy boli vykonané z takto predupravených vzoriek.

Stanovenie obsahu prvkov

Prístupné obsahy prvkov boli stanovené vo výluhu Mehlich III., ktorý bol pripravený podľa Zbírala *et al.* /17/. Výluhy boli následne zmerané na ICP-AES 725 Varian. Získané výsledky boli vyhodnotené softwarom ICP Expert II 1.1.3.263 a prerátané na sušinu, ktorá bola

získaná sušením vzoriek vo vákuovej sušiarňi VENTI-line 180 Prime pri teplote 105 ± 5 °C do konštantnej hmotnosti podľa STN ISO 11465 /8/.

Štatistické vyhodnotenie

Všetky získané výsledky boli štatisticky spracované v programe Tibco Statistica 14. Najskôr boli vypočítané základné popisné štatistiky. Následne bola na štatistické zhodnotenie výsledkov použitá analýza rozptylu (ANOVA) a Duncanov test viacnásobného rozsahu. Ako hodnotiace kritérium bola použitá hladina významnosti 5% ($p = 0,05$).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Použitý popol obsahoval oveľa viac všetkých sledovaných makroživín a mikroživín okrem železa ako rašelina, vďaka čomu sa po prídavku drevného popola do rašeliny signifikantne zvýšili obsahy týchto prvkov (p -hodnota Duncanovho testu $< 0,05$). Existuje množstvo prác, ktoré skúmali obsahy týchto prvkov v rôznych populoch a v pôde po aplikácii popolov /6,7,15/. Avšak práce zaoberajúce sa prípravou substrátov na báze rašeliny a drevného popola chýbajú. V zmesiach rašeliny s drevným popolom dochádzalo časom k postupným zmenám v obsahu sledovaných prvkov, niektoré sa znížili a niektoré zvýšili. Tieto trendy neboli vždy jednoznačné, čo mohlo byť spôsobené tým, že odbery neboli uskutočňované vždy z jedného miesta. Celkový trend v prípade horčíka a sodíka bol signifikantne stúpajúci (p -hodnota Duncanovho testu $< 0,05$). V prípade vápnika, draslíka, medi, zinku a železa bol tento trend signifikantne klesajúci (p -hodnota Duncanovho testu $< 0,05$).

Tab. 1: Prístupné obsahy horčíka, vápnika, draslíka, fosforu a mangánu v popole, rašelini a ich zmesiach

	Horčík (mg/kg)	Vápnik (mg/kg)	Draslík (mg/kg)	Fosfor (mg/kg)	Mangán (mg/kg)
Popol	1315 ± 31	10424 ± 366	1558 ± 31	422 ± 12	272 ± 8
Rašelina	871 ± 19	2637 ± 46	188 ± 4	18 ± 1	20 ± 0
RPM 25.3.24	1250 ± 9	10075 ± 26	2029 ± 10	357 ± 2	311 ± 1
RPM 9.4.24	1477 ± 9	9982 ± 69	1539 ± 7	347 ± 3	365 ± 3
RPM 7.5.24	1116 ± 13	6666 ± 71	998 ± 7	239 ± 1	254 ± 3
RPM 10.6.24	1319 ± 12	7525 ± 69	1004 ± 9	253 ± 2	293 ± 1
RPM 11.7.24	1814 ± 11	10615 ± 75	1176 ± 11	271 ± 5	282 ± 2
RPM 20.8.24	1800 ± 42	8849 ± 98	803 ± 11	221 ± 6	248 ± 4
RPM 19.9.24	1889 ± 8	9835 ± 46	840 ± 5	243 ± 4	277 ± 2
RPM 11.11.24	1780 ± 11	9577 ± 20	856 ± 8	242 ± 3	282 ± 2
RP+ 25.3.24	1228 ± 18	10755 ± 193	2133 ± 36	319 ± 3	308 ± 4
RP+ 9.4.24	1471 ± 10	10775 ± 111	1711 ± 14	347 ± 4	376 ± 4
RP+ 7.5.24	1459 ± 31	8776 ± 90	1358 ± 23	316 ± 7	370 ± 9
RP+ 10.6.24	1357 ± 12	8067 ± 49	1404 ± 7	276 ± 3	316 ± 2
RP+ 11.7.24	1660 ± 4	10787 ± 97	1135 ± 8	355 ± 4	340 ± 3
RP+ 20.8.24	1869 ± 40	10575 ± 100	1248 ± 22	384 ± 5	346 ± 7
RP+ 19.9.24	1801 ± 28	9800 ± 48	1124 ± 23	335 ± 4	320 ± 7
RP+ 11.11.24	1708 ± 11	9569 ± 38	1135 ± 22	339 ± 4	321 ± 2

V prípade fosforu a mangánu bol trend nejednoznačný, pri vyššom prídavku drevného popola sa signifikantne znižoval (p -hodnota Duncanovho testu $< 0,05$), pri nižšom prídavku popola sa signifikantne zvyšoval (p -hodnota Duncanovho testu $< 0,05$). Toto zvýšenie však nebolo až také výrazné ako zníženie. Výsledky získané pre obsahy vápnika, draslíka a fosforu sú v zhode s výsledkami získanými po aplikácii popola do pôdy v rôznych množstvách, kde analýzy urobili tesne po aplikácii a následne po roku od aplikácie /16/. Väčšina dostupnej literatúry sa zaoberá len efektom aplikácie drevného popola do pôdy hneď po pridaní, ale už nesleduje ako sa vlastnosti pôdy po takejto aplikácii menia časom. Preto je cieľom tejto práce zhodnotiť účinky aplikácie drevného popola do rašeliny aj v dlhšom časovom rozmedzí.

Tab. 2: Prístupné obsahy medi, zinku, železa a sodíka v popole, rašeline a ich zmesiach

	Meď (mg/kg)	Zinok (mg/kg)	Železo (mg/kg)	Sodík (mg/kg)
Popol	7,04 ± 0,20	23,4 ± 1,5	230 ± 5	1078 ± 14
Rašelina	2,22 ± 0,06	16,8 ± 0,2	504 ± 9	36 ± 1
RPM 25.3.24	5,03 ± 0,06	27,1 ± 0,2	362 ± 6	177 ± 6
RPM 9.4.24	3,80 ± 0,12	18,5 ± 0,1	472 ± 8	554 ± 1
RPM 7.5.24	3,20 ± 0,10	15,5 ± 0,1	300 ± 2	546 ± 4
RPM 10.6.24	3,49 ± 0,04	17,5 ± 0,1	325 ± 3	622 ± 4
RPM 11.7.24	4,26 ± 0,06	25,3 ± 0,7	423 ± 3	749 ± 5
RPM 20.8.24	3,55 ± 0,06	18,5 ± 0,5	404 ± 9	664 ± 8
RPM 19.9.24	4,15 ± 0,02	19,0 ± 0,2	428 ± 1	757 ± 5
RPM 11.11.24	4,32 ± 0,04	18,8 ± 0,1	335 ± 1	754 ± 5
RP+ 25.3.24	5,41 ± 0,06	24,3 ± 0,3	312 ± 3	230 ± 8
RP+ 9.4.24	5,20 ± 0,02	27,7 ± 0,3	359 ± 3	578 ± 7
RP+ 7.5.24	4,97 ± 0,06	19,5 ± 0,3	316 ± 6	788 ± 4
RP+ 10.6.24	4,18 ± 0,12	21,2 ± 0,1	299 ± 2	653 ± 4
RP+ 11.7.24	4,33 ± 0,06	23,5 ± 0,1	415 ± 1	712 ± 3
RP+ 20.8.24	4,82 ± 0,06	22,0 ± 0,3	392 ± 7	696 ± 8
RP+ 19.9.24	4,66 ± 0,03	21,3 ± 0,5	374 ± 5	799 ± 5
RP+ 11.11.24	4,83 ± 0,03	20,9 ± 0,4	296 ± 2	821 ± 7

ZÁVER

Väčšina dostupnej literatúry sa zaoberá len efektom aplikácie drevného popola do pôdy hneď po pridaní, ale už nesleduje ako sa vlastnosti pôdy po takejto aplikácii menia časom. Preto bolo cieľom tejto práce zhodnotiť účinky aplikácie drevného popola do rašeliny aj v dlhšom časovom rozmedzí. Použitý popol obsahoval oveľa viac všetkých sledovaných makroživín a mikroživín okrem železa ako rašelina, vďaka čomu sa po prídavku drevného popola do rašeliny signifikantne zvýšili obsahy týchto prvkov. V zmesiach rašeliny s drevným popolom dochádzalo časom k postupným zmenám v obsahu sledovaných prvkov, niektoré sa znížili a niektoré zvýšili. V súčasnosti prebiehajú chemické a fyzikálno-chemické analýzy týchto zmesí z pokračujúcich odberov v časových rozostupoch.

LITERATÚRA

- /1/ Asare, M. O., Hejzman, M., (2022). Effect of tree species on the elemental composition of wood ashes and their fertilizer values on agricultural soils. In: *Global Change Biology Bioenergy* 14, 12, p. 1321-1335.
- /2/ Baloch, S. B., Ali, S., Bernas, J. et al., (2024). Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. In: *Chemosphere*, 357, 141865.
- /3/ ČSN ISO 11464:2011. Kvalita pudy – Úprava vzorku pro fyzikálně-chemické rozbor.
- /4/ Luptáková, J., Krupová, D., Tóthová, S., (2024). *Obnova a rozšírenie infraštruktúry CLL na podporu demonštračných ukážok v rámci projektu Upgrade LignoSilva, v časti „Recyklácia odpadov“*. 12. česko-slovenský odborný seminár k monitoringu lesov, Smrekovica - Veľká Fatra, Slovensko, 22. – 24.5.2024, p. 44-45, ISBN 978-80-8093-361-6.
- /5/ Luptáková, J., Tóthová, S., (2024). *Zmeny vybraných ukazovateľov v rašeline po pridání drevného popola*. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v. i., Zvolen, Slovensko, 11. – 12.9.2024, p. 53-58, ISBN 978-80-89408-38-2.
- /6/ Pitman, R. M., (2006). Wood ash use in forestry—a review of the environmental impacts. In: *Forestry*, 79.5: 563-588.
- /7/ Stankowski, S., et al., (2018). Influence of biomass ash, lime and gypsum fertilization on macro-and microelement contents in the soil and grains of spring wheat. In: *Soil Science Annual*, 69.3: 177-183.
- /8/ STN ISO 11465:2001, Kvalita pôdy. Stanovenie obsahu sušiny a hmotnostného obsahu vody. Gravimetrická metóda.
- /9/ Teker Ercan, E. E., et al., (2023). Wood ash as sustainable alternative raw material for the production of concrete—a review. In: *Materials*, 16.7: 2557.
- /10/ Thomas, B. S., Yang, J., Mo, K. H., (2021). Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. In: *Journal of Building Engineering*, 40, 102332.
- /11/ Tóthová S., (2022). Vlastnosti populov z dreva. In: *Mačala, J., Carach, V. (eds.), 2022. Ochrana ovzdušia 2022. Kongres STUDIO, spol. s r.o. Zborník recenzovaných príspevkov z medzinárodnej konferencie Ochrana ovzdušia 2022. 23.-25. novembra 2022, Vysoké Tatry, Hotel Patria, 222 s. ISBN 978-80-89565-56-6, EAN 9788089565566, s. 38-47.*
- /12/ Tóthová S., (2023). Miesto pre drevný popol v cestovnej mape obehovej bioekonomiky na Slovensku. In: *LignoSilva 2023: Zborník odborných prác z konferencie*, 13. júna 2023. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, s. 69-72. ISBN: 978-80-8093-346-3.
- /13/ Tripathi, N., et al., (2019). Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. In: *NPJ climate and atmospheric science*, 2.1: 35.
- /14/ Rolka, E., Żolnowski, A. C., Wyzkowski, M. et al., (2023). Wood Biomass Ash (WBA) from the Heat Production Process as a Mineral Amendment for Improving Selected Soil Properties. In: *Energies*, 16, 13, 5110.
- /15/ Wiater, J., Sulewska, M. J., (2025). The content of macroelements, heavy metals and their fractions in ash after biomass combustion. In: *Desalination and Water Treatment*, 322: 101173.
- /16/ Zapałowska, A., et al., (2020). Fertilisation with ash from wood and with sewage sludge versus contents of macro-and microelements in the soil following cultivation of *Helianthus tuberosus* L. In: *Agronomy Research*, 18(2), 650-661.
- /17/ Zbíral, J.; Honsa I. et al., (2010). *Analýza půd I, Jednotné pracovní postupy*. 3. vydanie. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 290 s. ISBN 978-80-7401-031-6.

Pod'akovanie

Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence.

VPLYV APLIKÁCIE DREVNÉHO POPOLA NA OBSAH UHLÍKA, DUSÍKA A SÍRY V RAŠELINE

INFLUENCE OF WOOD ASH APPLICATION ON CARBON, NITROGEN AND SULFUR CONTENT IN THE PEAT

Laura Korčoková, Jana Luptáková, Slávka Tóthová, Elena Takáčová, Vladimír Mačejovský, Ivan Horvát, Helena Hybská*

Národné lesnícke centrum, Sekcia pre vedu a výskum, T. G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen
laura.korcokova@nlcsk.org, jana.luptakova@nlcsk.org, slavka.tothova@nlcsk.org,
elena.takacova@nlcsk.org, vladimir.macejovsky@nlcsk.org, ivan.horvat@nlcsk.org

*Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, hybska@tuzvo.sk

Summary

Wood ash is produced by partial combustion of wood. A large amount of ash is landfilled, and therefore it is important to find suitable ways to recycle it. Redirecting wood ash from landfills to soils can reduce disposal costs. Many studies have shown that wood ash is effective in improving soil quality. The aim of this work is to gain knowledge about the carbon, nitrogen and sulfur contents in the peat after the addition of wood ash and to assess the impact of wood ash application on the contents of these elements. The ash used in the experiments was obtained from a wood chip burning plant for energy production located in Hriňová (Hriňovská energetická s. r. o.), specifically bottom ash was used. After performing the analyses, we found that wood ash had significantly lower carbon, nitrogen and sulfur contents compared to peat. Over time, all three elements decreased significantly after the addition of ash to peat.

Key words: wood ash, carbon, nitrogen, sulfur, peat, recycling

Súhrn

Drevný popol vzniká čiastočným spaľovaním dreva. Veľké množstvo popola sa skládkuje a preto je dôležité nájsť vhodné spôsoby na jeho recykláciu. Presmerovanie drevného popola zo skládok do pôd môže znížiť náklady na likvidáciu. Mnohé štúdie ukázali, že drevný popol je účinný pri zlepšovaní kvality pôdy. Cieľom tejto práce je získať poznatky o obsahoch uhlíka, dusíka a síry v rašeline po pridaní drevného popola a posúdiť vplyv aplikácie drevného popola na obsahy daných prvkov. Popol, ktorý bol použitý pri experimentoch bol získaný z prevádzky spaľujúcej drevnú štiepku za účelom výroby energie nachádzajúcej v Hriňovej (Hriňovská energetická s. r. o.), konkrétne sa používal roštový popol. Po vykonaní analýz sme zistili, že drevný popol mal v porovnaní s rašelinou signifikantne nižšie obsahy uhlíka, dusíka a síry. Vplyvom času všetky tri prvky po pridaní popola do rašeliny signifikantne klesali.

Kľúčové slová: drevný popol, uhlík, dusík, síra, rašelina, recyklácia

ÚVOD

Drevný popol, účinný zdroj minerálov, vzniká čiastočným spaľovaním dreva, ktoré obsahuje organické a anorganické zlúčeniny. Priaznivé vlastnosti drevného popola súvisia s jeho vysokou zásaditosťou a zvýšenou koncentráciou živín. Jeho aplikácia do pôdy dodáva základné pôdne živiny, najmä vápnik, draslík, horčík, fosfor a zároveň zvyšuje pH pôdy [2]. Aplikácia drevného

popola do pôdy so sebou prináša aj obavy týkajúce sa koncentrácií stopových prvkov, vplyvov na prízemnú vegetáciu, zmien v mikrobiálnych procesoch /10/.

Vďaka obsahu primeraného množstva rôznych makroživín a mikroživín a zmesi oxidov, hydroxidov, uhličitanov a kremičitanov je drewný popol potenciálne vynikajúcim pôdnym hnojivom, ktoré si získava široké uznanie ako alternatíva chemických hnojív. Uvádza sa, že pri aplikácii drewného popola vo vhodných množstvách sa úrodnosť pôdy zvyšuje /11/. Celkovo sa drewný popol ukázal ako účinný pri zlepšovaní pôdy bez toho, aby predstavoval riziko pre pôdne spoločenstvá. Zloženie živín v drewnom popole do značnej miery závisí od použitého druhu stromu, či pochádza z kôry alebo dreva, ako aj od účinnosti procesu spaľovania /2/.

Recyklácia popola z biomasy môže zabezpečiť využitie popola, čo by mohlo vyriešiť problémy s jeho likvidáciou a znížiť spotrebu komerčných hnojív, ktoré sa používajú na plodinách /12/. Využitie popola je napríklad v stavebníctve, pri úprave pôdy, kompostovaní /10/.

V Národnom lesníckom centre prebieha medzinárodný projekt Upgrade LignoSilva (Horizon Europe). Tento projekt sa venuje recyklácii živín z drewného popola v lesníctve. Cieľom projektu je navrhnúť postupy výroby kompostov, substrátov a hnojív z celulózových kalov a popolov a overiť rôzne spôsoby ich testovania na semenách aj sadenicích lesných drevín v laboratórnych, poloprevádzkových a agrolesníckych systémoch. Zároveň zlepšiť transfer vedeckých poznatkov o aplikácii drewného popola ako hnojiva do praxe a tým znížiť jeho skládkovanie v zmysle princípov cirkulárnej bioekonomiky.

Experimenty, ktoré boli založené v rámci projektu sa nachádzajú v Biotechnologickom parku Stráž (BTP Stráž) a vo Výskumnej stanici v Gabčíkove (VS Gabčíkovo). V Biotechnologickom parku Stráž sa založili tri ukážky. V prvej ukážke bola zmiešaná rašelina s popolom v dvoch rôznych pomeroch. Do zmiešanej výslednej zmesi boli zasadené tri dreviny, borovica lesná, smrekovec opadavý a buk lesný, ktoré sú pestované vo fóliovníku. V druhej ukážke bol popol aplikovaný na pole, v dvoch rôznych množstvách. Kde boli zasadené rovnaké tri dreviny. V tretej ukážke sa postupovalo rovnako ako pri prvej ukážke, ale popol bol nahradený celulózovým kalom. Aj vo Výskumnej stanici v Gabčíkove boli založené tri ukážky. Pri prvej ukážke sa postupovalo rovnako ako pri založení prvej ukážky v BTP Stráž, ale dreviny tam boli vysadené, dub letný, lipa malolistá a brest väzový. V druhej ukážke boli tieto isté dreviny vysadené na pole v areáli VS a následne boli aplikované zmesi popola a rašeliny. V tretej ukážke sa uskutočňuje kompostovanie použitím štiepky, pokosenej trávy a drewného popola.

Cieľom práce je posúdiť vplyv aplikácie drewného popola na obsah uhlíka, dusíka a síry v rašeline.

MATERIÁL A METÓDA

Materiál

Popol, ktorý bol použitý pri experimentoch bol získaný z prevádzky spaľujúcej drewnú štiepku za účelom výroby energie nachádzajúcej v Hriňovej (Hriňovská energetická s. r. o.) a momentálne je skládkovaný v Biotechnologickom parku Stráž. Konkrétne sa používal roštový popol. Producent získal povolenie na tento druh popola a tak môže byť použitý ako pôdna pomocná látka. Na prípravu substrátov bola použitá komerčne dostupná rašelina od producenta Gramoflor GmbH & Co KG. Zmesi rašeliny a popola boli pripravené zmiešaním v plastovej nádobe v dvoch pomeroch a to 0,5 kg popola na 1 kg rašeliny (RPM) a 0,75 kg popola na 1 kg rašeliny (RP+). Tieto substráty boli naplnené do sadbovačov, umiestnené do plnoautomaticky zavlažovaného fóliovníka a následne boli zasadené semená borovice lesnej.

Pred aplikáciou popola boli odobraté po štyri vzorky z dreveného popola a rašeliny. Ďalšie vzorky boli odobraté po aplikácii dreveného popola do rašeliny po cca 1 mesiaci. Následne boli odobraté vzorky v cca mesačných intervaloch vždy v štyroch replikátoch. V Centrálnom lesníckom laboratóriu boli tieto vzorky analyzované na obsahy uhlíka, dusíka a síry.

Predúprava vzoriek

Vzorky boli po prijatí do laboratória predupravené podľa ČSN ISO 11464 (2011). Tento postup zahŕňa sušenie, drvenie a sitovanie vzoriek. Všetky analýzy boli vykonané z takto predupravených vzoriek.

Uhlík, dusík a síra

Obsahy uhlíka, dusíka a síry boli stanovené podľa STN ISO 10694 (2001), DIN ISO 13878 (1998) a ISO 15178 (2000). Stanovenia uhlíka a dusíka sa vykonávalo na prístroji LECO, modul CHN828. Uhlík a dusík boli stanovované suchým spaľovaním vzoriek pri teplote 950 °C v prebytku kyslíka. Pri spálení sa menili na príslušné oxidy, ktoré boli detegované tepelnovodivostným detektorom v prípade dusíka a infračerveným detektorom v prípade uhlíka. Stanovenie síry sa vykonávalo na prístroji LECO, modul S832. Síra sa stanovovala suchým spaľovaním vzoriek pri teplote 1350 °C v prebytku kyslíka. Pri spálení sa menila na príslušné oxidy, ktoré boli detegované infračerveným detektorom. Všetky výsledky boli vyhodnotené softwarom Cornerstone 2.10.2.

Štatistické vyhodnotenie

Všetky získané výsledky boli štatisticky spracované v programe MS Excel 2016. Najskôr boli vypočítané základné popisné štatistiky. Následne bola na štatistické zhodnotenie výsledkov použitá jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA) a významné rozdiely medzi priemernými hodnotami vzoriek daných pomerov boli stanovené pomocou Duncanovho testu viacnásobného rozsahu v softvare Tibco Statistica 14. Ako hodnotiace kritérium bola použitá hladina významnosti 95% ($p = 0,05$).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsahy uhlíka, dusíka a síry boli stanovené vo vzorkách dreveného popola a rašeliny pred a po pridaní popola v určitom množstve. Drevený popol, ktorý bol použitý obsahuje málo uhlíka, síry a skoro žiadny dusík. V porovnaní s rašelinou má signifikantne nižšie obsahy týchto prvkov.

Tab. 1 Obsahy uhlíka, dusíka a síry v popole, ktorý sa použil a v rašeline pred a po pridaní popola v pomere 1:0,75

	popol	rašelina	25.3.2024	9.4.2024	7.5.2024
C(%)	1,605±0,095	44,95±0,520	20,50±0,648	24,65±0,742	16,25±0,772
N(%)	<LOQ	0,836±0,008	0,314±0,015	0,410±0,018	0,360±0,018
S(%)	0,031±0,002	0,138±0,004	0,084±0,004	0,063±0,002	0,064±0,001

Pozn.: pre stanovenie obsahu dusíka je hodnota LOQ (medza kvantifikácie) = 0,02%

Po aplikácii dreveného popola do rašeliny sa po jednom mesiaci vykonali analýzy a následne boli vzorky odoberané v mesačných intervaloch. Obsah uhlíka, dusíka a síry sa v oboch pomeroch po aplikácii popola v rašeline signifikantne zmenil, p -hodnota Duncanovho testu bola $< 0,05$.

V oboch zmesiach RP+ 1:0,75 a RPM 1:0,50 sa obsah uhlíka, dusíka a aj síry zmenil už po prvom mesiaci po pridaní popola do rašeliny. Vplyvom času všetky tri prvky pri oboch pomeroch po pridaní popola do rašeliny signifikantne klesali.

Tab. 2 Obsahy uhlíka, dusíka a síry v popole, ktorý sa použil a v rašeline pred a po pridaní popola v pomere 1:0,75 pokračovanie

	10.6.2024	11.7.2024	20.8.2024	19.9.2024	11.11.2024
C(%)	19,75±0,846	17,88±0,556	21,48±0,492	21,28±0,680	16,28±0,275
N(%)	0,484±0,018	0,469±0,019	0,423±0,004	0,478±0,010	0,355±0,004
S(%)	0,077±0,001	0,061±0,002	0,062±0,002	0,070±0,002	0,058±0,001

Pozn.: pre stanovenie obsahu dusíka je hodnota LOQ (medza kvantifikácie) = 0,02%

Tab. 3 Obsahy uhlíka, dusíka a síry v popole, ktorý sa použil a v rašeline pred a po pridaní popola v pomere 1:0,50

	popol	rašelina	25.3.2024	9.4.2024	7.5.2024
C(%)	1,605±0,095	44,95±0,520	26,90±0,956	28,18±1,374	21,25±0,961
N(%)	<LOQ	0,836±0,008	0,396±0,015	0,482±0,004	0,387±0,010
S(%)	0,031±0,002	0,138±0,004	0,094±0,004	0,068±0,002	0,080±0,002

Pozn.: pre stanovenie obsahu dusíka je hodnota LOQ (medza kvantifikácie) = 0,02%

Tab. 4 Obsahy uhlíka, dusíka a síry v popole, ktorý sa použil a v rašeline pred a po pridaní popola v pomere 1:0,50 pokračovanie

	10.6.2024	11.7.2024	20.8.2024	19.9.2024	11.11.2024
C(%)	20,53±1,124	21,85±0,881	21,75±0,500	20,78±0,519	20,80±0,712
N(%)	0,483±0,028	0,511±0,022	0,517±0,016	0,488±0,015	0,471±0,012
S(%)	0,066±0,002	0,067±0,002	0,080±0,001	0,078±0,002	0,077±0,003

Pozn.: pre stanovenie obsahu dusíka je hodnota LOQ (medza kvantifikácie) = 0,02%

V štúdiu /5/, ktorá sa venovala aplikácii drevného popola na vlastnosti pôdy, uviedli pokles koncentrácií uhlíka a dusíka v pôde po aplikácii drevného popola. Iné štúdie však nepreukázali žiadny vplyv na obsah uhlíka alebo dusíka v pôde /13/. Aplikácia drevného popola priamo dodáva uhlík do pôdy a môže zvýšiť návrat organickej hmoty do pôdy prostredníctvom zvýšenia rastu stromov, ale podľa doterajších vedomostí žiadne štúdie nepreukázali významný nárast obsahu uhlíka alebo organickej hmoty v pôde /7/. Niekoľko štúdií preukázalo zvýšenie pH pôdy a obsahu živín v dôsledku aplikácie popola. Poľné aj skleníkové experimenty tiež ukázali, že zlepšenie fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy v dôsledku aplikácie popola viedlo k významnému zvýšeniu rastu rastlín. Hoci drevný popol už obsahuje väčšinu žiaducich makroživín, dusík je v drevnom popole veľmi obmedzený, pretože sa stráca procesom spaľovania.

Preto samotná aplikácia drevného popola nemusí byť účinná na kompenzáciu nedostatku dusíka, ktorý sa všeobecne považuje za obmedzený v pôdach na celom svete /1/.

ZÁVER

Cieľom príspevku bolo posúdiť vplyv aplikácie drevného popola na obsah uhlíka, dusíka a síry v rašelini. Popol, ktorý bol použitý pri experimentoch bol získaný z prevádzky spaľujúcej drevnú štiepku za účelom výroby energie nachádzajúcej v Hriňovej (Hriňovská energetická s. r. o.). Zmesi rašeliny a popola boli pripravené zmiešaním v plastovej nádobe v dvoch pomeroch a to 0,5 kg popola na 1 kg rašeliny (RPM) a 0,75 kg popola na 1 kg rašeliny (RP+). Pred aplikáciou popola boli odobraté po štyri vzorky z drevného popola a rašeliny. Ďalšie vzorky boli odobraté po aplikácii drevného popola do rašeliny po cca 1 mesiaci. Následne boli odobraté v cca mesačných intervaloch vždy v štyroch replikátoch. V oboch zmesiach RP+ 1:0,75 a RPM 1:0,50 sa obsah uhlíka, dusíka a aj síry zmenil už po prvom mesiaci po pridaní popola do rašeliny. Vplyvom času všetky tri prvky pri oboch pomeroch v zmesiach signifikantne klesali. V pravidelných intervaloch sa vzorky naďalej odoberajú a budú z nich urobené ďalšie analýzy. Taktiež budú vyskúšané aj iné pomery zmiešania drevného popola s rašelinou.

LITERATÚRA

- /1/ An, J. Y., Bae, P. B. 2021. Effects of wood ash and N fertilization on soil chemical properties and growth of *Zelkova serrata* across soil types. In *Scientific Reports*, 14489.
- /2/ Baloch, S. B., Ali, S., Bernas, J., Moudrý, J., Konvalina, P., Mushtaq, Z., Murindangabo, Y. T., Onyebuchi, E. F., Baloch, F. B., Ahmad, M., Saeed, Q., Mustafa A. 2024. Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. In *Chemosphere*, 357, 141865.
- /3/ ČSN ISO 11464:2011. Kvalita pudy – Úprava vzorku pro fyzikálně-chemické rozborů.
- /4/ DIN ISO 13878:1998-11. Soil quality - Determination of total nitrogen content by dry combustion ("elemental analysis").
- /5/ Hannam, KD , Fleming, RL , Venier, L. a Hazlett, PW. 2019. Can bioenergy ash applications emulate the effects of wildfire on upland forest soil chemical properties? In *Soil Science Society of America Journal*, 83, p. 201-217.
- /6/ ISO 15178:2000. Soil quality — Determination of total sulfur by dry combustion.
- /7/ Joseph, R., Diochon, A., Morris, D., Venier, L., Emilson, C. E., Basiliko, N., Bélanger, N., Jones, T., Markham, J., Rutherford, M. P., Smenderovac, E., Rees, K. V., Hazlett, P. 2022. Limited effect of wood ash application on soil quality as indicated by a multisite assessment of soil organic matter attributes. In *GCB Bioenergy*, 14, p. 500-521.
- /8/ Luptáková, J., Korčoková, L., Tóthová, S. 2024. Zmeny obsahu uhlíka, dusíka a síry po aplikácii drevného popola na pôdu. In *LignoSilva 2024: Zborník odborných prác z konferencie*, Zvolen, Národné lesnícke centrum, p. 69-74. ISBN: 978-80-8093-369-2.
- /9/ Luptáková, J., Tóthová, S. 2024. Zmeny vybraných ukazovateľov v rašelini po pridaní drevného popola. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2024 – Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied*, v. v. i. 11. – 12.9.2024, p. 53-57, ISBN: 978-80-89408-38-2.
- /10/ Mahmood, T., Kamal, A. 2022. Ash properties relevance to beneficial uses. In *Waste Management*, 141, p. 282-289.
- /11/ Romdhane, L., Ebinezer, L. B., Panozzo, A., Barion, G., Cortivo, C. D., Radhouane, L., Vamerali, T. 2021. Effects of Soil Amendment With Wood Ash on Transpiration, Growth, and Metal Uptake in Two Contrasting Maize (*Zea mays* L.) Hybrids to Drought Tolerance. In *Frontiers in Plant Science*, 12.
- /12/ STN ISO 10694:2001. Kvalita pôdy. Stanovenie organického a celkového uhlíka po suchom spaľovaní (elementárna analýza).
- /13/ Ventura, M., Panzacchi, P., Muzzi, E., Magnani, F., & Tonon, G. 2019. Carbon balance and soil carbon input in a poplar short rotation coppice plantation as affected by nitrogen and wood ash application. In *New Forests*, 50, p. 969–990.
- /14/ Zhao, H., Ahmad, S., Wu, N., Suo, L., Tian, X., Zhao, Y., Yu, J., Wang, L., Si, B. 2022. Effect of Straw and Wood Ash on Soil Carbon Sequestration and Bacterial Community in a Calcareous Soil. In *Frontiers in Microbiology*, 13.

Pod'akovanie

Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence.

EFFECTS OF PAPILIOTREMA LAURENTII ON PLANTS EXPOSED TO DROUGHT

VPLYV KVASINKY PAPILIOTREMA LAURENTII NA RASTLINY VYSTAVENÉ SUCHU

Marko Bajus¹, Zuzana Vivodová¹, Eva Labancová¹, Diana Hačkuličová¹, Kristína Holeková¹,
Danica Kučerová¹, Ágnes Horváthová², Renáta Vadkertiová², Karin Kollárová¹

¹Department of Glycobiotechnology, Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences,
Dúbravská cesta 5807/9, 845 38 Bratislava, Slovakia

²Culture Collection of Yeasts, Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences, Dúbravská
cesta 5807/9, 845 38 Bratislava, Slovakia
marko.bajus@savba.sk

Summary

The aim of this study was to determine the effect of the yeast strain *Papiliotrema laurentii* (CCY 17-3-24) on the growth of maize plants (*Zea mays* L.) exposed to drought stress. The yeast was applied in a suspension directly to the grains before sowing (at a concentration of 10⁷ yeast cells per ml). The effects of yeast on the weight of plant roots and shoots and on the concentration of hydrogen peroxide and abscisic acid were monitored. It was found that yeast had a positive effect on the weight of roots and shoots in drought conditions. A significant decrease in the stress response of plants treated with yeast and exposed to drought was observed, as indicated by a reduction in the concentration of hydrogen peroxide and abscisic acid

Key words: Abscisic acid; drought; hydrogen peroxide; maize; Papiliotrema laurentii

Súhrn

Cieľom tejto práce bolo zistiť vplyv vybraného kmeňa kvasiniek *Papiliotrema laurentii* (CCY 17-3-24) na rast rastlín kukurice siatej (*Zea mays* L.) vystavených stresu spôsobenému suchom. Kvasinky sa aplikovali v suspenzii priamo na zrná pred výsevom (v koncentrácii 10⁷ kvasinkových buniek na ml). Zisťovali sme vplyv kvasiniek na hmotnosť koreňov a nadzemných častí rastlín a na koncentráciu peroxidu vodíka a kyseliny abscisovej. Zistili sme, že kvasinky mali pozitívny vplyv na hmotnosť koreňov a nadzemných častí v podmienkach sucha. Viditeľné zmiernenie stresovej reakcie rastlín ošetrovaných kvasinkami a vystavených suchu sa prejavilo znížením koncentrácie peroxidu vodíka a kyseliny abscisovej.

Kľúčové slová: kukurica; kyselina abscisová; Papiliotrema laurentii, peroxid vodíka; sucho

INTRODUCTION

Human activities and climate change have been identified as key contributors to the exacerbation of drought conditions, with alterations to rainfall patterns and an increase in evaporation. This phenomenon has been demonstrated in crop yields, elevated food prices, and damaged water resources and ecosystems /1/. Drought is defined as a period of low rainfall that leads to water shortages and negatively affects plant growth and agriculture. The ongoing drought brought the vulnerability of agriculture to environmental changes, highlighting the limited capacities of plants to adapt and survive in specific geographical regions /2/.

Damage of plant roots was observed, particularly in cases of shallow-rooted or young plants. It has been demonstrated that plants with deeper roots exhibit greater resilience to prolonged drought, although they remain susceptible to damage /3/. In response to the drought stress conditions, plants exhibit various adaptive mechanisms, including stomata closure, leaf size reduction, and the development of deeper roots. Collectively, these adaptations are intended to conserve water /4/.

The molecules of hydrogen peroxide (H_2O_2) are considered as reactive oxygen species (ROS) that play a dual role in plants under drought stress. While H_2O_2 might cause oxidative damage of proteins, lipids, and DNA, it also acts as a signalling molecule /5/. Drought increases H_2O_2 concentration due to reduced CO_2 and disrupted photosynthesis, leading to stress responses. Excess H_2O_2 can harm cell membranes, but it also helps regulate metabolism. This regulation improves drought tolerance by activating genes involved in stress adaptation. Thus, H_2O_2 contributes to both damage and defence in stressed plants /6/.

Absciscic acid (ABA) plays a key role in helping plants cope with drought stress. During drought, plants increase the production of ABA, which helps maintain osmotic balance and regulate stomatal closure, reducing water loss through transpiration. This hormone is essential for improving water retention and overall drought resilience /7/. ABA also enhances the plants' antioxidant defences by increasing the concentration of protective compounds like anthocyanins, proline, and ascorbic acid. Through these mechanisms, ABA supports both immediate and long-term drought responses in plants /8/.

In recent years, the use of biostimulants and microorganisms is emerging as the solution to drought stress. Some yeasts are already used as potential biostimulants based on their technological use. *Papiliotrema laurentii* is an oleaginous yeast with biotechnological potential, known for its ability to produce valuable compounds and support plant growth /9/.

MATERIALS AND METHODS

Maize grains (*Zea mays* L.) were surface-decontaminated with 99% ethanol and rinsed with distilled water. For selected treatments, the seeds were immersed for 2 hours in a yeast suspension of *Papiliotrema laurentii* (CCY 17-3-24) at a concentration of 10^7 cells ml^{-1} . The grains for well-watered and drought treatments were soaked in distilled water under the same conditions. Following imbibition, seeds and the suspension were placed in Petri dishes for 48 hours long germination. After germination, seedlings were transferred and planted into a standard horticultural substrate with precisely defined nutrients and estimated field water capacities: 70% for well-watered conditions and 35% for drought stress. The containers were placed in cultivation chamber with maintained temperature of 25/20 °C (day/night), with a 16 h light/8 h dark photoperiod, light intensity of 130–140 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, and 40% relative humidity. Irrigation was modified to ensure constant weight according to each treatment condition.

After 21 days of cultivation, plants were harvested, and the fresh weights of roots and shoots were measured. Hydrogen peroxide and absciscic acid (ABA) concentrations were determined in both roots and leaves of 21-day-old plants. The H_2O_2 concentration was determined in 500 mg of roots and third leaves which were homogenized in cold trisodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0), centrifuged at 5,300 g (10 min, 4 °C), mixed with 1 mM KI (1:2), measured absorbance at 390 nm, and calculated by standard curve /10/.

Abscissic acid concentration was determined in root and third leaf segments (40 mg), which were homogenized in a chilled mortar and extracted in cold 100% methanol with 1 mM butylated hydroxytoluene, incubated at 4 °C for 4 hours, centrifuged at 13,700 g (10 min, 4 °C), purified with a C18 column, methylated with trimethylsilyldiazomethane in hexane at 42 °C for 30 minutes, evaporated, diluted in TBS buffer, and analysed by using competitive ELISA kits (Olchemim, Czech Republic) /11/.

Statistical differences between treatment groups were analysed using Tukey's one-way ANOVA test at $p < 0.05$ with the Statistica software.

RESULTS AND DISCUSSION

The application of *Papiliotrema laurentii* (CCY 17-3-24) yeast suspension had a positive effect on the physiological parameters of maize plants grown under drought conditions. The weight of roots and shoots of plants in the drought treatment (DRO) was lower (Fig. 1) compared to plants in well-watered conditions (CON). After the yeast application (DRO-Y), root weight increased by 18.3% compared to the DRO treatment (Fig. 1A). A similar trend was observed in the fresh weight of the shoots, where weight increased by 16.9% in the DRO-Y treatment compared to the DRO treatment (Fig. 1B). Alzandi and Naguib /12/ determined similar increase in fresh weight of roots and shoots in maize plants after the application of Baker's yeast. We did not find any positive effect of yeast treatment under well-watered conditions.

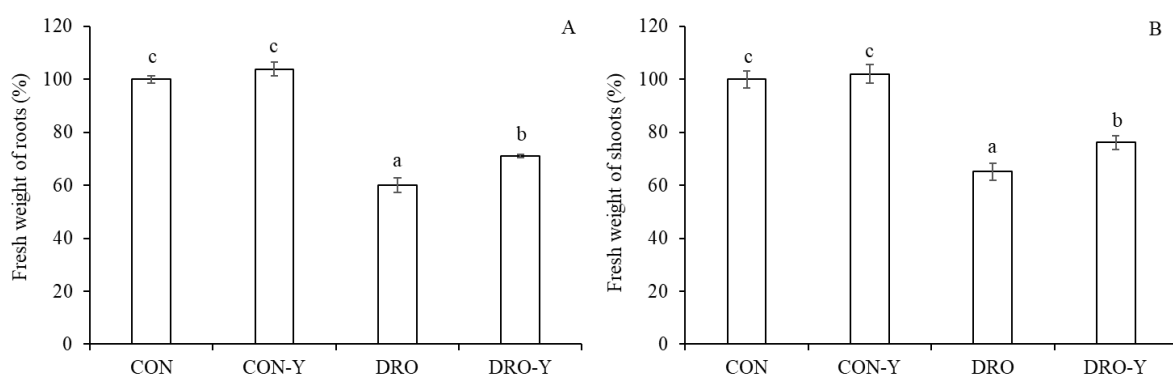


Figure 1: Fresh weight of roots and shoots (%) of maize cultivated in four treatments: CON (70% field water capacity), DRO (35% field water capacity), CON-Y (suspension of *Papiliotrema laurentii* in 10^7 cells mL^{-1} concentration; 70% field water capacity), DRO-Y (suspension of *Papiliotrema laurentii* in 10^7 cells mL^{-1} concentration; 35% field water capacity). Control = 100%. Different letters indicate statistical differences between individual treatments at $p < 0.05$.

The concentration of H_2O_2 , which is an indicator of oxidative stress, was increased in drought treatment (Fig. 2). After the yeast application (DRO-Y), concentration of H_2O_2 in roots decreased by 46.1% compared to the DRO treatment (Fig. 2A). The effect was less pronounced in the leaves, where a statistically insignificant difference was determined in the DRO-Y treatment compared to the DRO treatment (Fig. 2B). We also found that the application of yeast increased the concentration of H_2O_2 in leaves in the CON-Y treatment, which may be caused by higher metabolic activity /13/.

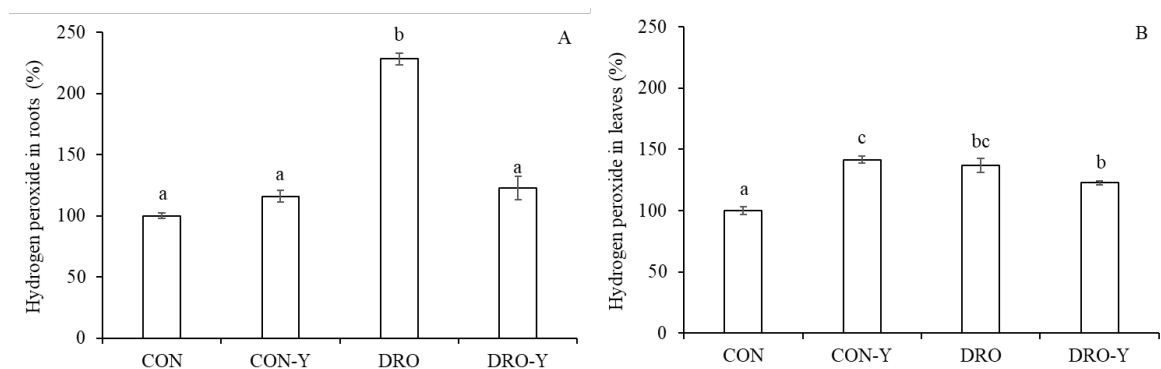


Figure 2: Hydrogen peroxide (H_2O_2) concentration (%) in roots (A) and third leaf (B) of maize cultivated in four treatments: CON (70% field water capacity), DRO (35% field water capacity), CON-Y (suspension of *Papiliotrema laurentii* in 10^7 cells ml^{-1} concentration; 70% field water capacity), DRO-Y (suspension of *Papiliotrema laurentii* in 10^7 cells ml^{-1} concentration; 35% field water capacity). Control = 100%. Different letters indicate statistical differences between individual treatments at $p < 0.05$.

The concentration of ABA, the main stress hormone in plants (Fig. 3), was increased in drought. After the yeast application (DRO-Y), the concentration of ABA decreased by 23.7% in roots and by 49.9% in leaves compared to the plants of the DRO treatment. These results show that *Papiliotrema laurentii* significantly reduces the hormonal stress response of plants. Similar results of decreased ABA concentrations were observed by Belimov et al. /14/ in rice plants after their inoculation with bacteria *Variovorax paradoxus*.

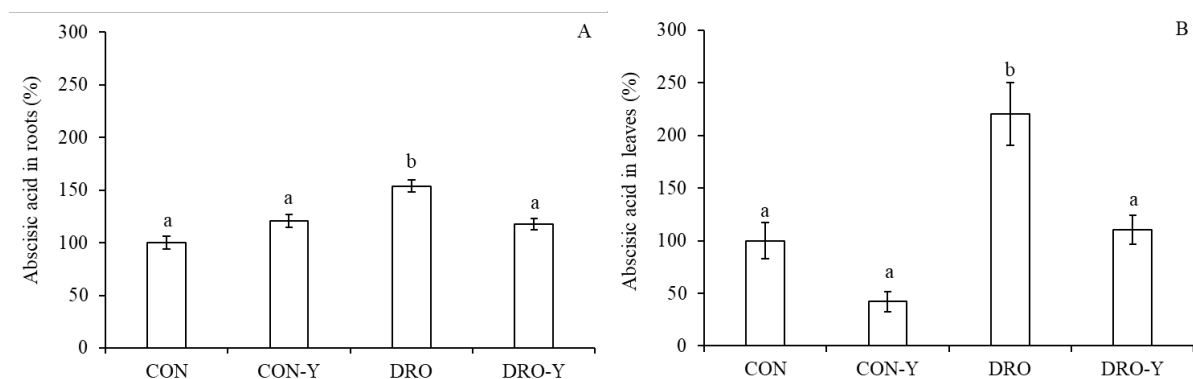


Figure 3: Absciscic acid (ABA) concentration (%) in roots (A) and third leaf (B) of maize cultivated in four treatments: CON (70% field water capacity), DRO (35% field water capacity), CON-Y (suspension of *Papiliotrema laurentii* in 10^7 cells ml^{-1} concentration; 70% field water capacity), DRO-Y (suspension of *Papiliotrema laurentii* in 10^7 cells ml^{-1} concentration; 35% field water capacity). Control = 100%. Different letters indicate statistical differences between individual treatments at $p < 0.05$.

CONCLUSIONS

Overall, it can be concluded that the application of *Papiliotrema laurentii* yeast suspension improved growth and physiology of plants exposed to drought. The fresh weight of roots and shoots of maize increased after the application of *Papiliotrema laurentii*. By reducing the concentrations of H_2O_2 and ABA, the yeast mitigates the negative effects of environmental stress, confirming its potential as a biostimulant for agricultural practice in the context of climate change.

REFERENCES

- /1/ Fendeková, M., Gauster, T., Labudová, L., Vrablíková, D., Danáčová, Z., Fendek, M., Pekárová, P.: Analysing 21st century meteorological and hydrological drought events in Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 66, 2018: 393–403.
- /2/ Lindh, M., Zhang, L., Falster, D., Franklin, O., Brännström, Å.: Plant diversity and drought: The role of deep roots. *Ecological Modelling*, 290, 2014: 85–93.
- /3/ Zhang, T., Su, X., Zhang, G., Wu, H., Wang, G., Chu, J.: Evaluation of the impacts of human activities on propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Weihe River Basin, China. *Science of the Total Environment*, 819, 2022: 153030.
- /4/ Ilyas, M., Nisar, M., Khan, N., Hazrat, A., Khan, A. H., Hayat, K., Fahad, S., Khan, A., Ullah, A.: Drought tolerance strategies in plants: A mechanistic approach. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 2021: 926–944.
- /5/ Wang, B., Zhou, J., Wang, Y., Zhu, L.: Physical stress and plant growth. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology, Chapter 7, 2006: Global Science Books, UK.
- /6/ Demiralay, M., Sağlam, A., Yetişsin, F., Kadioğlu, A.: Investigation of the roles of hydrogen peroxide and NADPH oxidase in the regulation of polyamine metabolism in maize plants under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 28, 2021: 613–625.
- /7/ Sadhukhan, A., Prasad, S. S., Mitra, J., Siddiqui, N., Sahoo, L., Kobayashi, Y., Koyama, H.: How do plants remember drought? *Planta*, 256, 2022: 7.
- /8/ Hussain, S., Saleem, M. F., Ashraf, M. Y., Cheema, M. A., Haq, M. A.: Abscissic acid, a stress hormone helps in improving water relations and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids under drought. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 2010: 2177–2189.
- /9/ De Almeida, E.L.M., Ventrone, R.Z., De Moura Ferreira, M.A., Da Silveira, W.B.: *Papiliotrema laurentii*: General features and biotechnological applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 106, 2022: Springer, Germany.
- /10/ Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A.: Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants – Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 1, 2000: 59–66.
- /11/ Labancová, E., Šípošová, K., Kučerová, D., Horváthová, Á., Schusterová, H., Vivodová, Z., Vadkertiová, R., Kollárová, K.: The tremellaceous yeast: *Papiliotrema terrestris*—As the growth stimulant of maize plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 2023: 3835–3850.
- /12/ Alzandi, A.A., Naguib, D.M.: Effect of yeast application on soil health and root metabolic status of corn seedlings under drought stress. *Archives of Microbiology*, 204, 2022: 233.
- /13/ Huchzermeyer, B., Menghani, E., Khardia, P., Shilu, A.: Metabolic pathway of natural antioxidants, antioxidant enzymes and ROS providence. *Antioxidants*, 11, 2022: 761.
- /14/ Belimov, A.A., Dodd, I.C., Safronova, V.I., Dumova, V.A., Shaposhnikov, A.I., Ladatko, A.G., Davies, W.J.: Abscissic acid metabolizing rhizobacteria decrease ABA concentrations in planta and alter plant growth. *Plant Physiology and Biochemistry*, 74, 2014: 84–91.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Scientific Grant Agency VEGA no. 2/0055/22 and no. 2/0151/22.

ÚČINKY HASEBNÍCH VOD LITHIOVÝCH AKUMULÁTORŮ Z ELEKTROMOBILŮ NA *LEMNA MINOR* L.

EFFECTS OF FIREFIGHTING WATERS FROM LITHIUM-ION BATTERIES OF ELECTRIC VEHICLES ON LEMNA MINOR L.

Klára Anna Mocová¹, Lucia Tajnaiová¹, Eva Nagyová¹, Hana Kulajová¹, Marek Martinec¹,
Martina Martínková¹, Jan Bindzar¹, Jana Bartáčková¹, Barbora Štěpánová², Petra Najmanová²,
Jan Karl³, Ondřej Suchý³, Lucie Pokorná¹

¹ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí,
Technická 5, 166 28 Praha 6, klara.mocova@vscht.cz

² Dekonta a.s., Dřetovice 109, 273 42 Stehelčevy

³ Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství HZS – Technický ústav požární ochrany, Písková 42,
143 00 Praha 4

Summary

The aim of this work was to assess the ecotoxicity of firefighting waters and leachates generated during fires and subsequent cooling of lithium-ion batteries from electric vehicles. Real-world samples were analyzed for basic physico-chemical parameters and subjected to a standardized phytotoxicity test with duckweed (*Lemna minor* L.). The results showed high variability among the samples, but a common denominator was a strongly alkaline reaction and a high content of dissolved substances. High toxicity to aquatic plants was confirmed (EC₅₀ values were in the range of low single-digit percentages). Principal Component Analysis identified high conductivity, acid neutralizing capacity, and high concentrations of lithium and fluoride ions as the main factors driving the toxicity. This work confirms that these waters pose a significant risk to the aquatic environment and highlights the need for their proper management and disposal.

Key words: ecotoxicity, firefighting water, Li-ion batteries, e-mobility, Lemna minor L.

Souhrn

Cílem práce bylo posoudit ekotoxicitu hasebních vod a výluhů vznikajících při požárech a následném chlazení lithiových baterií z elektromobilů. Byly analyzovány reálné vzorky z hlediska základních fyzikálně-chemických parametrů a podrobeny standardizovanému testu fytotoxicity s okřehkem menším (*Lemna minor*). Výsledky ukázaly vysokou variabilitu mezi vzorky, avšak společným jmenovatelem byla silně alkalická reakce a vysoký obsah rozpuštěných látek. Byla potvrzena vysoká toxicita pro vodní rostliny (hodnoty EC₅₀ se pohybovaly v nízkých jednotkách procent). Analýza hlavních komponent identifikovala jako hlavní faktory ovlivňující toxicitu vysokou konduktivitu, kyselinovou neutralizační kapacitu a vysoké koncentrace lithia a fluoridových iontů. Práce potvrzuje, že tyto vody představují významné riziko pro vodní prostředí a zdůrazňuje potřebu jejich správné likvidace.

Klíčová slova: ekotoxická, hasební vody, Li-ion baterie, elektromobilita, Lemna minor

ÚVOD

V posledních letech jsme svědky dynamického rozvoje elektromobility, který je klíčovou součástí celosvětové snahy o omezení využívání fosilních paliv a snižování emisí skleníkových plynů. Elektrická vozidla využívající lithium-iontové akumulátory se stávají běžnou alternativou

k vozům se spalovacími motory. S jejich masivním rozšířením však vznikají i nové environmentální výzvy.

Jedním z nejvýznamnějších rizik je vznik požárů akumulátorů, přičemž zásah u těchto požárů je velmi specifický. I po zdánlivém uhašení plamenů je totiž nezbytné baterii nadále intenzivně chladit, aby se zamezilo opětovnému vznícení v důsledku probíhající tepelné řetězové reakce (thermal runaway) /1/. Oficiální taktické postupy Hasičského záchranného sboru ČR proto jako jednu z nejefektivnějších metod uvádějí ponoření baterie či celého vozidla do kontejneru s vodou, a to na dobu několika dní, resp. po "nezbytně nutnou dobu", dokud neustane samozahřívání a vývin plynů /2/. V praxi však často dochází k ponechání vraků ve vodní lázni i po výrazně delší dobu, což vede k nadměrnému louhování toxických látek. Právě proces dlouhodobého loužení je předmětem této studie, která se snaží přispět k lepšímu pochopení dynamiky tohoto procesu a k nalezení optimální rovnováhy mezi zajištěním bezpečnosti a minimalizací environmentálních dopadů.

Výluhy obsahují komplexní směs toxických látek uvolněných ze zničených bateriových článků. Typicky se jedná o extrémní hodnoty pH a vysoké koncentrace lithia, hliníku, fluoridových iontů a dalších kovů /3/. Ačkoliv je jejich chemické složení zkoumáno, komplexní ekotoxický dopad na vodní rostliny je stále nedostatečně prozkoumanou oblastí. Cílem tohoto příspěvku je proto posoudit fytotoxicitu reálných vzorků těchto výluhů pomocí standardizovaného testu s okřehkem menším (*Lemna minor* L.) a identifikovat klíčové parametry zodpovědné za pozorovanou toxicitu.

MATERIÁL A METODA

Pro studii byly použity dva typy vzorků. První skupinu tvořily výluhy připravené v rámci řízených experimentů, kdy byly lithiové baterie záměrně zapáleny, uhašeny a následně louhovány v kohoutkové vodě. Pro sledování dynamiky uvolňování látek byly ze všech výluhů odebírány vzorky opakovaně po dobu devíti měsíců. Druhou skupinu reprezentoval reálný vzorek z požáru elektrokoloběžky, kde byl celý ohořelý vrak po uhašení ponořen do záchytné nádoby s vodou. Vzorky vodného výluhu byly odebírány v den 1 (D1), 5 (D5) a 9 (D9). Devátý den byl vrak z vody vyjmut a ve sledování samotné vody se pokračovalo odběrem vzorků v den 12 (D12) a 16 (D16) od počátku experimentu.

Pro všechny analýzy byly použity vzorky výluhů, které byly předem zfiltrovány přes membránový filtr o porozitě 0,45 μm . Testována tak byla pouze rozpuštěná frakce kontaminantů. Ve vzorcích byly stanoveny následující fyzikálně-chemické parametry: pH, měrná elektrická vodivost (konduktivita), kyselinová neutralizační kapacita do pH 4,5 (KNK_{4,5}) a do pH 8,5 (KNK_{8,5}) podle normy ČSN EN ISO 9963–1 /4/, koncentrace vybraných kovů (např. Li, Al) metodou atomové absorpční spektrometrie (AAS) a koncentrace vybraných aniontů (např. chloridů a fluoridů).

Semichronický test inhibice růstu s okřehkem menším (*Lemna minor* L.) byl proveden v souladu s metodikou normy ISO 20079 /5/. Kultura rostlin byla udržována v modifikovaném médiu Steinberg /5/. Test probíhal po dobu 7 dní za kontrolovaných podmínek: teplota 24 $\pm$ 1 °C, fotoperioda 16:8 (světlo:tma) a intenzita osvětlení 10 000 lx. Testované výluhy nebyly před expozicí nijak upravovány (např. úprava pH) a pro přípravu jednotlivých koncentrací byly pouze naředěny médiem Steinberg. Do testovacích roztoků nebyly přidávány žádné další živiny; jejich zdrojem tak byly pouze látky přítomné v samotném výluhu a v ředícím médiu.

Na konci expozice byly hodnoceny dva hlavní parametry: rychlost růstu a obsah chlorofylu. Růst, vyjádřený jako nárůst celkové listové plochy, byl kvantifikován pomocí obrazové analýzy (NIS Elements 5.2, Laboratory Imaging). Obsah celkového chlorofylu (a+b) byl stanoven spektrofotometricky po extrakci pigmentů z biomasy v methanolu p.a. dle metody /6/.

Účinek byl vyjádřen jako procentuální inhibice oproti kontrole. Hodnoty EC_{50} byly stanoveny pomocí nelineární regrese (logistický model). Hodnoty NOEC (nejvyšší testovaná koncentrace bez statisticky významného účinku) a LOEC (nejnižší testovaná koncentrace se statisticky významným účinkem) byly určeny pomocí analýzy variance (ANOVA) a následného Dunnettova testu. Pro zhodnocení vztahů mezi všemi měřenými proměnnými byla použita analýza hlavních komponent (PCA). Veškeré statistické analýzy a tvorba grafů byly provedeny v softwaru GraphPad Prism (ver. 10.2.3).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Souhrnné hodnocení 17 výluhů potvrdilo, že pro tento typ odpadních vod je typická vysoká variabilita fyzikálně-chemických vlastností. Na rozdíl od některých hasebních vod z požárů konvenčních vozidel, které mohou být silně kyselé /3/, byl pro všechny námi testované vzorky společným jmenovatelem vysoce alkalický charakter (Tab. 1). Tato variabilita závisí nejen na době loužení, ale také na přesném složení ponořené části (baterie vs. celý vrak) a stupni jejího vyhoření. Naše zjištění vysokých koncentrací lithia a fluoridů ve výluzích ze shořelých baterií plně korespondují s publikovanými daty, kde byly tyto prvky rovněž identifikovány jako klíčové kontaminanty specifické pro baterie /3,7/.

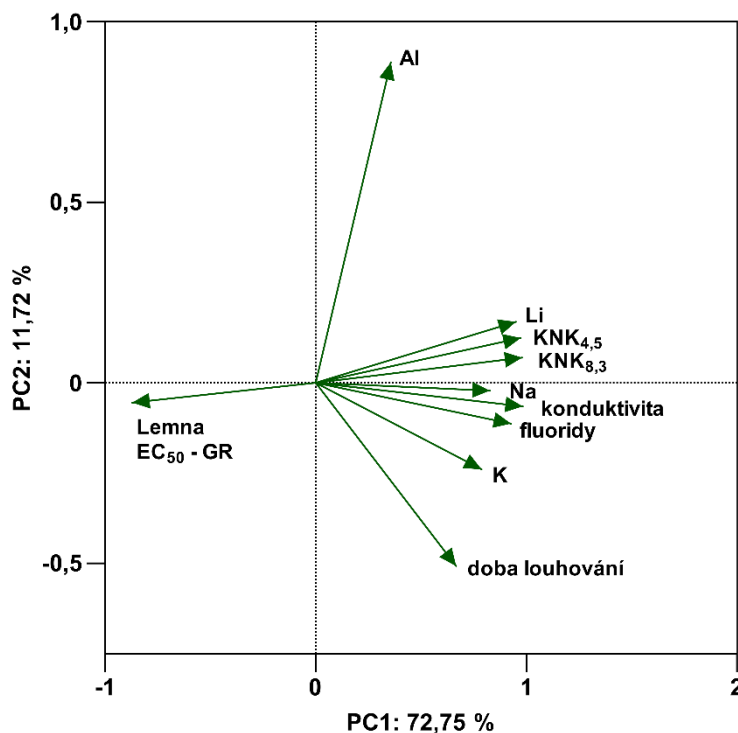
Tab. 1: Fyzikálně-chemická a ekotoxikologická charakteristika souboru výluhů ze shořelých lithiových baterií ($n=17$).

parametry	chemicko-fyzikální				<i>L. minor</i> – růstová rychlost			<i>L. minor</i> - chlorofyl		
veličina	pH	konduktivita	KNK _{4,5}	KNK _{8,3}	EC_{50}	LOEC	NOEC	EC_{50}	LOEC	NOEC
jednotky	-	mS/cm	mmol/l	mmol/l	% obj.					
min	11,3	2,714	27,6	13,3	1,3	1,0	0,5	2,0	2,0	1,5
max	13,1	26,03	211,2	151,1	14,8	20	10	29,2	25	20
parametry	kovy a anionty (mg/l)									
veličina	bromidy	chloridy	fluoridy	fosfáty	sírany	Li	Al	Ba	Na	K
min	PMD	21,31	54,9	0,01	13,3	163,54	1,0	PMD	13,2	2,04
max	3,6	63,0	299,3	1,96	384,2	1561,6	187,7	0,84	38,7	12,1

Tento specifický chemismus se přímo odrazil na vysoké toxicitě výluhů pro modelovou rostlinu *L. minor*. Pozorované hodnoty EC_{50} jsou srovnatelné s toxicitou, kterou Quant et al. zaznamenali pro sladkovodní zelené řasy (*Pseudokirchneriella subcapitata*), kde se hodnoty EC_{50} rovněž pohybovaly v řádu nízkých jednotek procent /3/. To potvrzuje, že hasební vody z požárů elektromobilů představují významné riziko pro vodní primární producenty.

Analýza hlavních komponent (PCA) ukázala, že toxicita testovaných vod vůči okřeškku korelovala především s koncentracemi lithia, sodíku, fluoridů a s hodnotami konduktivity a kyselinové neutralizační kapacity (Graf 1). Naopak, souvislost s obsahem hliníku nebyla v našem souboru dat významná.

Tento výsledek je v souladu s naší dřívější prací, kde se okřehek rovněž ukázal jako málo citlivý organismus vůči alkalickému výluhu s vysokým obsahem hliníku /8/. Je tedy možné, že toxicita hliníku v alkalickém prostředí je pro vodní rostliny nižší než pro jiné skupiny organismů, například vodní bezobratlé.

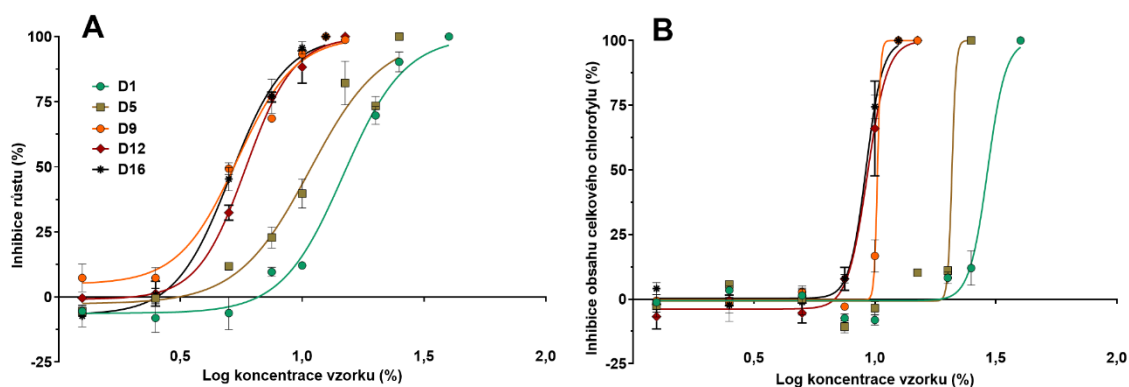


Graf 1: Ordinační diagram (PCA) vztahů mezi chemickými vlastnostmi a toxicitou výluhů ze shořelých lithiových baterií. Vektory v grafu představují následující proměnné: koncentrace prvků (Li, Al, K, Na), konduktivitu, koncentraci fluoridů, dobu louhování, kyselinovou neutralizační kapacitu do pH 4,5 (KNK_{4,5}) a do pH 8,3 (KNK_{8,3}) a ekotoxicitu pro *Lemna minor*, vyjádřenou jako EC₅₀ pro inhibici růstové rychlosti (*Lemna* EC₅₀ - GR).

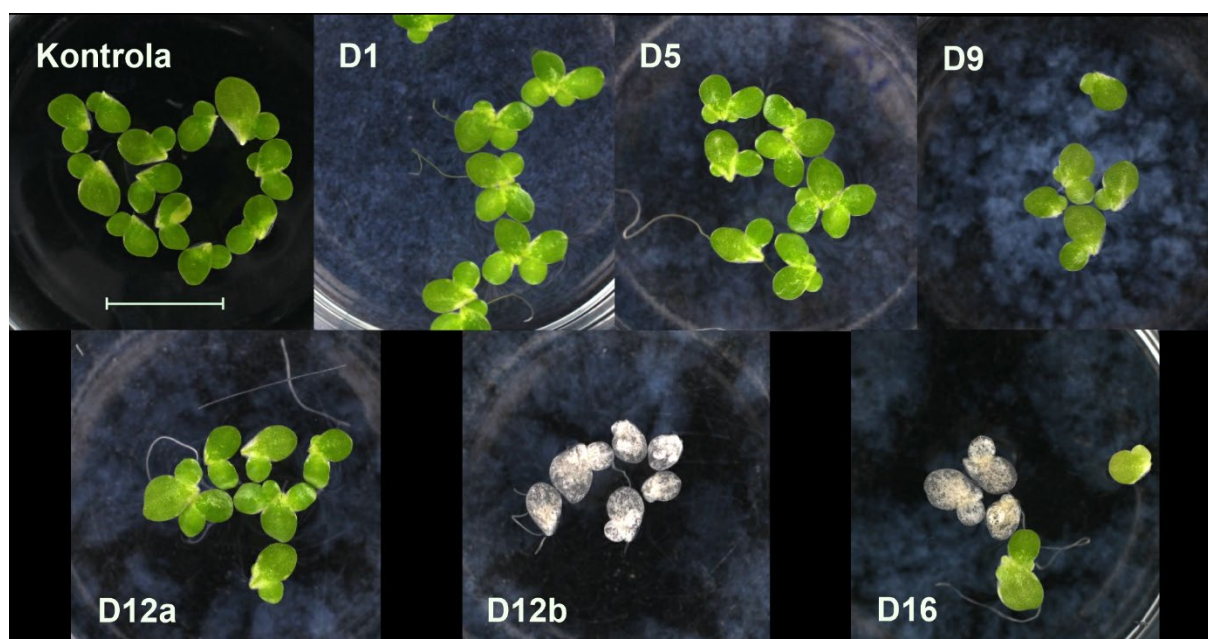
Detailní sledování časového vývoje toxicity u výluhu z elektrokoloběžky (Graf 2) odhalilo, že toxicita plynule narůstala s dobou loužení (D1 až D9) a po vyjmutí vraku z vody se již dále významně neměnila (D12, D16), což potvrzují i hodnoty ekotoxikologických indexů (Tab. 2). Pozoruhodný byl rozdíl ve strmosti „dose-response“ křivek. Zatímco inhibice růstu nastupovala pozvolně, vliv na obsah chlorofylu byl charakterizován prahovým efektem, kdy po překročení určité koncentrace docházelo k velmi prudkému nárůstu chlorózy. Tyto narůstající účinky s dobou loužení vizuálně dokládají i fotografie rostlin na konci expozice (Obr. 1).

Tab. 2: Hodnoty EC₅₀, NOEC a LOEC pro inhibici růstu a obsahu chlorofylu u *Lemna minor* exponované výluhům ze shořelé elektrokoloběžky různého stáří (D1–D16).

Parametr	Růstová rychlost					Obsah chlorofylu				
Výluh	D1	D5	D9	D12	D16	D1	D5	D9	D12	D16
EC ₅₀ (% obj.)	14,8	10,7	5,4	5,9	5,1	29,2	20,8	10,3	9,3	9,2
LOEC (% obj.)	20	7,5	5,0	5,0	5,0	25	20	10	10	10
NOEC (% obj.)	10	5,0	2,5	2,5	2,5	20	15	7,5	7,5	7,5



Graf 2: Ekotoxický vliv výluhů ze shořelé elektrokoloběžky různého stáří (D1–D16) na *Lemna minor*. Graf (A) znázorňuje inhibici rychlosti růstu, graf (B) inhibici obsahu celkového chlorofylu.



Obr. 1: Vzhled rostlin *Lemna minor* po 7 dnech expozice 10% výluhům ze shořelé elektrokoloběžky různého stáří (D1–D16). U vzorku D12 je pro ilustraci hraničního toxického účinku zobrazena vysoká variabilita mezi replikami (D12a, D12b).

ZÁVĚR

Práce potvrdila, že hasební vody, resp. výluhy ze shořelých lithiových baterií, představují významné environmentální riziko. Zjištěná vysoká fytotoxicita pro okřehek menší (*Lemna minor*) byla způsobena komplexním působením celé směsi, přičemž jako klíčové faktory byly identifikovány vysoká konduktivita, kyselinová neutralizační kapacita a vysoké koncentrace lithia a fluoridových iontů. Naopak, vliv vysokého obsahu hliníku se v alkalickém prostředí neukázal jako významný. Experiment se shořelou elektrokoloběžkou navíc prokázal, že toxicita výluhu narůstá s dobou kontaktu vody se shořelým materiálem. Výsledky jasně ukazují na nezbytnost systematického sledování a správného managementu těchto odpadních vod, aby se předešlo kontaminaci vodních ekosystémů.

REFERENCES

- /1/ Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., Huang, X.: A review of battery fires in electric vehicles. *Fire Technology* 56, 2020: 1361-1410.
- /2/ Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Silniční vozidla s elektrickým pohonem. Metodický list číslo 7/D. Praha, 2024.
- /3/ Quant, M., Willstrand, O., Mallin, T., Hynynen, J.: Ecotoxicity evaluation of fire extinguishing water from large-scale battery and battery electric vehicle fire tests. *Environmental Science & Technology* 57, 2023: 4821–4830.
- /4/ ČSN EN ISO 9963–1 (757371) Jakost vod. Stanovení kyselinové neutralizační kapacity (KNK). Část 1: Stanovení KNK4,5 a KNK8,3. 1996.
- /5/ ISO 20079: Water quality - Determination of toxic effect of water constituents and waste to duckweed (*Lemna minor*) - Duckweed growth inhibition test. 2005, CEN, Brussels.
- /6/ Wellburn, A.R.: The spectral determination of chlorophyll a and chlorophyll b as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, 1994: 307-313.
- /7/ Bordes A., Papin, A., Marlair, G., Claude, T., El-Masri, A., Durrusel, T., Bertrand, J-P., Truchot, P., Lecocq, A., et al., Assessment of run-off waters resulting from lithium-ion battery fire-fighting operations, *Batteries* 10, 2024: 118
- /8/ Mariaková, D., Mocová, K.A., Fořtová, K., Pavlů, T., Hájek, P.: Waste glass powder reusability in high-performance concrete: leaching behavior and ecotoxicity. *Materials*, 14, 2021: 4476.

Poděkování

Výzkum byl financován z projektu MV-SECTECH VB02000068 „Ochrana obyvatelstva a zasahujících složek IZS ČR před emisemi z požárů lithiových akumulátorů“.

OXIDATIVE REACTIONS OF PLANTS TO SPRAY INSECTICIDE

REAKCIE ANTIOXIDAČNÉHO SYSTÉMU RASTLÍN NA POSTREKOVÝ INSEKTICÍD

Martin Ševcov, Kristína Holeková, Danica Kučerová, Diana Hačkuličová, Marko Bajus, Karin Kollárová, Eva Labancová

Department of Glycobiotechnology, Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences,
Dúbravská cesta 5807/9, 845 38 Bratislava, Slovakia

Summary

Current surge in population and climate change leads to a higher need for chemical use in agriculture. Organic insecticide use is on rise and the chemicals might persist in the environment, get into watercourses, and through the food chain to the animal and human body. The ability of various plants to withstand such chemicals is not often considered. In this study we determined the ability of two maize and courgette plants to react to the spray insecticide containing sulfoxaflor and the plants were sprayed with a single or a double dose. We found that the plants reacted to spraying depending on the age of the tissue, concentration of the insecticide, and depending on the sampling time. The activity of ascorbate-peroxidase and catalase was more significantly affected in older leaves of maize plants than in younger leaves. A different trend was found in courgette plants; which younger tissues could abruptly react to the insecticide by increasing the activity of ascorbate-peroxidase.

Key words: ascorbate-peroxidase, catalase, courgette, insecticide, maize, sulfoxaflor

Súhrn

Súčasný nárast populácie a zmeny klímy vedú k vyššiemu dopytu po chemických prostriedkoch v poľnohospodárstve. Organické insekticídy sa používajú vo vyšších množstvách a môžu sa dostať do vodných tokov a cez potravinový reťazec aj do zvieracích a ľudských tiel. Schopnosť rozdielnych rastlín tolerovať prítomnosť chemikálií v prostredí sa nedostáva často do povedomia ľudí. V tejto štúdii sme analyzovali reakciu kukurice a cukety na postrekový insekticíd obsahujúci sulfoxaflor, ktorý sme aplikovali v odporúčanej alebo v dvojitej dávke. Zistili sme, že pletivá rastlín rozdielne reagujú na prítomnosť chemikálie v závislosti od veku pletiva, koncentrácie insekticídu a v závislosti od času od aplikácie pesticídu. Aktivita askorbát-peroxidázy a katalázy bola výraznejšie ovplyvnená v starších pletivách kukurice ako v mladších. Odlišný trend sme zistili v mladších pletivách cukety, ktoré dokázali reagovať na prítomnosť insekticídu zvyšovaním aktivity askorbát-peroxidázy.

Kľúčová slova: askorbát-peroxidáza, cuketa, insekticíd, kataláza, kukurica, sulfoxaflor

INTRODUCTION

Generally, the use of chemicals in agriculture is associated with the protection measures against plant pathogens, herbivore attacks, weeds, or the soil enrichment. Although such chemicals are effective in improving crop/fruit yields, they might pose a silent threat to the environment.

Current new strategies and ideas aim to decrease the use of chemicals in agriculture or to find sustainable replacements /1/. However, the success of such strategies differs between countries due to the socioeconomic variability /2/. One of the major dangers of pesticide use is their persistence in the environment due to their chemical nature and the form of application. The pesticides can be applied directly onto the surface of soil or mixed with the substrate, applied during the irrigation, or sprayed onto the above-ground parts of the plants. Furthermore, in such cases, the chemicals do not remain only on the plant surface; they might be washed to the soil by rain, or systemically transported in the plant to the roots from shoots /3/.

The plants' reactions to insecticides vary due to their genetic variability. Some plants might be more susceptible to the insecticide's residues in the soil, which might negatively affect their growth and development. Although the effects are not constant and evident, the plant's physiological processes might be quickly affected. In most cases, the plant's homeostasis between the reactive oxygen species (ROS) generation and antioxidant system activity is disrupted, leading to a high energy exertion towards antioxidant mechanisms /4/. The plants of Cucurbitaceae family are recognised for their ability to tolerate and accumulate high concentrations of organic pollutants including persistent organic pollutants. However, their immediate reactions to the chemical sprays were not investigated or compared to other plants (e.g., maize) /5/.

In this study commercially available pesticide Gondola was used as a spray insecticide. This pesticide is systemic (it can be transported through the plant's vascular system) and acts against potato aphids, insects on leafy and cabbage vegetables, or whiteflies on ornamental plants. The manufacturer of the used pesticide stated that it also acts as translaminar pesticide (distributes evenly to the both sides of leaves and creates a reservoir of active component in leaf's internal tissues; thus, protects the whole leaf) /6/. The active substance in this pesticide is sulfoxaflor ([methyl-oxo-[1-[6-(trifluoromethyl)pyridin-3-yl]ethyl]-^λ6 sulfanylidene]cyanamide), which has been recognised as a safer chemical option and as a replacement of neonicotinoids /7/. The objective of this study was to compare the reaction of oxidative system of younger and older tissues in maize, as well as in courgette.

MATERIAL AND METHODS

To analyse the influence of pesticide application on plant antioxidant defence systems maize (*Zea mays* L.) hybrid Luciana (RWA, Slovakia) and courgette (*Cucurbita pepo* L.) (Moravoseed, variety 'Nefertiti') were used in the experimental part of the work. Before sowing, the grains/seeds were immersed in sodium hypochlorite (4.7%) for 15 min, and thoroughly rinsed in tap water and distilled water (dH₂O), and imbibed. The grains and seeds were planted in soil (garden substrate) saturated with water (70% of water holding capacity) and germinated in plastic containers for 3 days. The plants were cultivated in controlled conditions in a cultivation room (24 ± 1 °C, 60% humidity, 16/8 hours photoperiod). The insecticide Gondola was applied on leaves using foliar spraying on the 14th day of the cultivation. The treatments were as follows: control maize/control courgette – leaves sprayed with distilled water, gondola maize/gondola courgette – leaves sprayed with distilled water containing a recommended dose of gondola (0.24 µg ml⁻¹ of sulfoxaflor), 2x gondola maize/2x gondola courgette – leaves sprayed with distilled water containing a double-dose of gondola (0.48 µg ml⁻¹ of sulfoxaflor). Plants were sampled in three time points, 4 hours, 24 hours and 48 hours after spraying.

The material used for analyses: the first two true leaves (the first and second leaf for maize and the first pair of leaves for courgette) and the third leaf of both maize and courgette, was frozen in liquid nitrogen. The estimation of catalase activity (CAT) and ascorbate-peroxidase activity (APX) was done spectrophotometrically from protein extract, according to the protocol by Hodges /8/ and Nakano and Asada /9/, following the determination of soluble protein concentration /10/. The statistical differences were analysed by two-way ANOVA and post-hoc Tukey test using R (R Core Team 2020) /11/, and in case the factors did not have an interaction, the results were analysed especially for 1st, 2nd and 3rd leaf using one-way ANOVA ($p < 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

The pesticide significantly impacted the activity of CAT in both the maize and the courgette plants (Fig.1; Fig.2). However, no interaction between the factors: pesticide and the type of leaf was found after 24 hours of pesticide application in maize plants.

The type of the leaf also impacted CAT activity, except 4 hours after Gondola's application on courgette plants. In maize (Fig. 1), the CAT activity reached its peak after 24 hours of Gondola's application, with the most evident differences between the 3rd leaves of control and 3L-G1x (single dose of Gondola) and 3L-G2x (double dose Gondola). The activity was almost 79.7% and 86.6% higher in 3L-G1x than in 3L-G2x after 24 hours of Gondola's application. There were differences between various leaves as well. A single dose of Gondola caused a significant increase in CAT activity in the maize older leaf (1st and the 2nd leaf) compared to the younger 3rd leaf (almost 2.5 times higher).

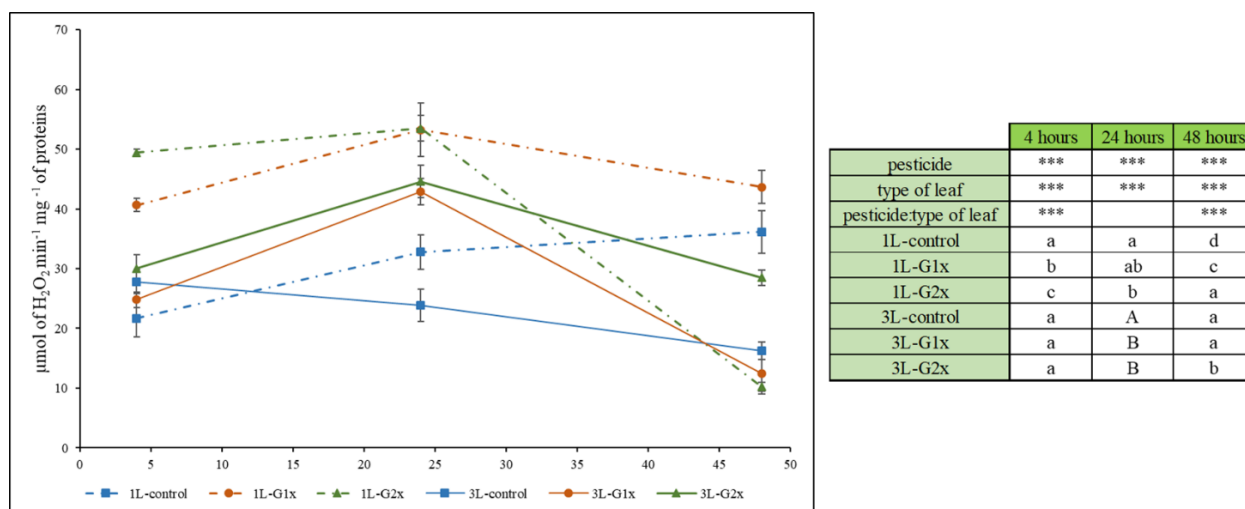


Fig. 1: The activity of CAT in time (4, 24, and 48 hours after pesticide Gondola application) in the 1st and the 2nd leaf (1L-control; 1L-G1x; 1L-G2x) and the 3rd leaf of maize (3L-control; 3L-G1x; 3L-G2x). The values represent: means $\pm$ standard error. Different letters in the table on the right denote statistically significant differences between the treatments at one sampling time.

Similar as in maize, in courgette (Fig. 2), the CAT activity reached its peak after 24 hours of Gondola's application. An evident increase of CAT activity was found in the older leaves after the application of both single (1L-G1x) and double dose (1L-G2x) of Gondola compared to control (1L-control). The activity was increased by 69.9% and 77% in 1L-G1x and 1L-G2x compared to the control (1L-control), respectively; and by 161.7% and 176.1% in 3L-G1x and 3L-G2x compared to the control (1L-control).

The pesticide significantly impacted the activity of APX in as well (Fig. 3; Fig. 4). However, no interaction between the factors: pesticide and the type of leaf was found after 48 hours of pesticide application in maize plants. Differently to CAT activity, the APX activity did not have similar trends in various treatments. The activity of APX in older leaves (1st and 2nd leaves) of maize (control treatment) stayed constant through the experiment. Conversely, the activity of APX in younger leaf (3rd leaf) of control treatment peaked after 48 hours of cultivation. Varying trends between the leaves were also found in the Gondola treatments. The activity of APX in older leaves (1L-G1x) reached its peak 24 hours after spraying the Gondola – it was almost 2x as high as in the control treatment (1L-control); while 48 hours after Gondola's application, the activity of APX decreased to a value below control.

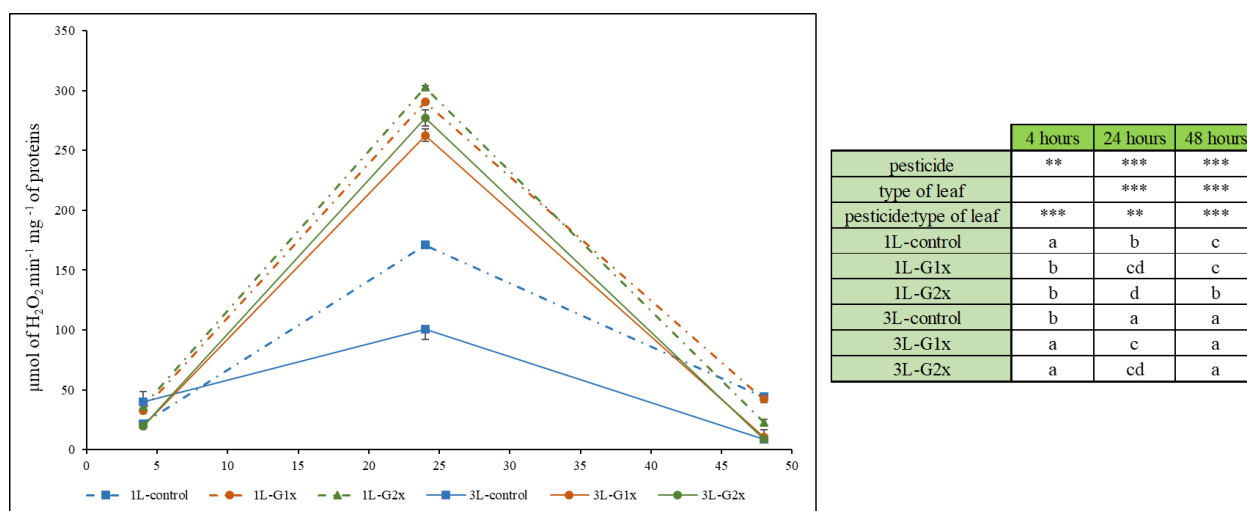


Fig. 2: The activity of CAT in time (4, 24, and 48 hours after pesticide Gondola application) in the 1st pair of leaves (1L-control; 1L-G1x; 1L-G2x) and the 3rd leaf of courgette (3L-control; 3L-G1x; 3L-G2x). The values represent: means $\pm$ standard error. Different letters in the table on the right denote statistically significant differences between the treatments at one sampling time.

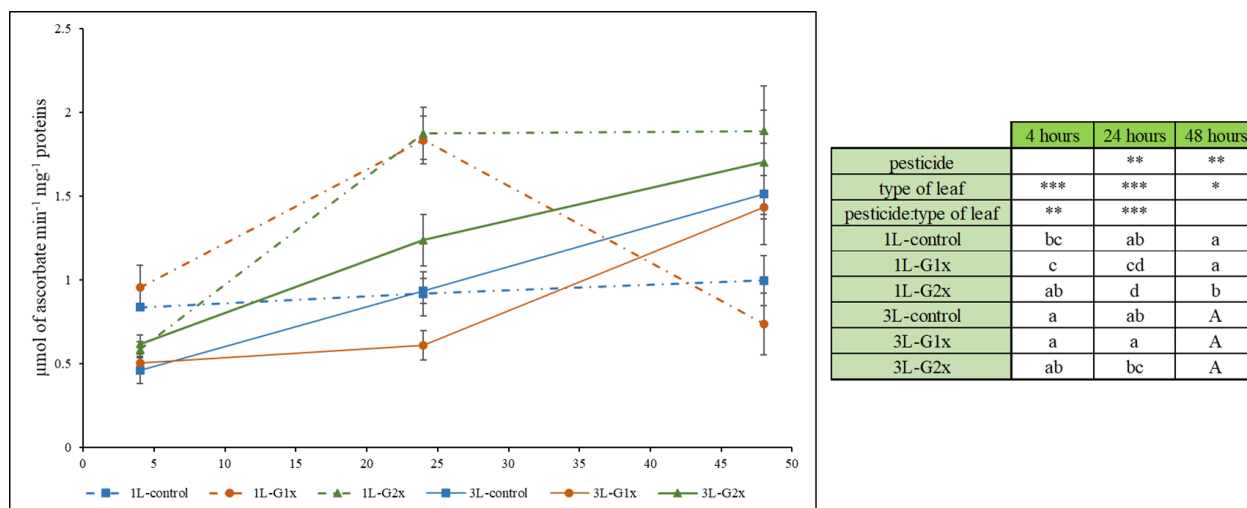


Fig. 3: The activity of APX in time (4, 24, and 48 hours after pesticide Gondola application) in the 1st and the 2nd leaf (1L-control; 1L-G1x; 1L-G2x) and the 3rd leaf of maize (3L-control; 3L-G1x; 3L-G2x). The values represent: means $\pm$ standard error. Different letters in the table on the right denote statistically significant differences between the treatments at one sampling time.

Maize leaves reacted differently to the double dose of pesticide. The activity of APX was increased in 1L-G2x by 89.9% compared to 1L-control 48 hours after spraying.

Differently to maize, in courgette (Fig. 4), the APX activity was higher in younger leaves than in old ones, while this difference was evident mostly 24 hours after spraying the pesticide. A significant increase in APX activity in younger leaf was found in plants sprayed with single or double dose of Gondola 48 hours after spraying compared to control. The activity increased by 114.3% in 3L-G1x and by 77.6% in 3L-G2x compared to control (3L-control).

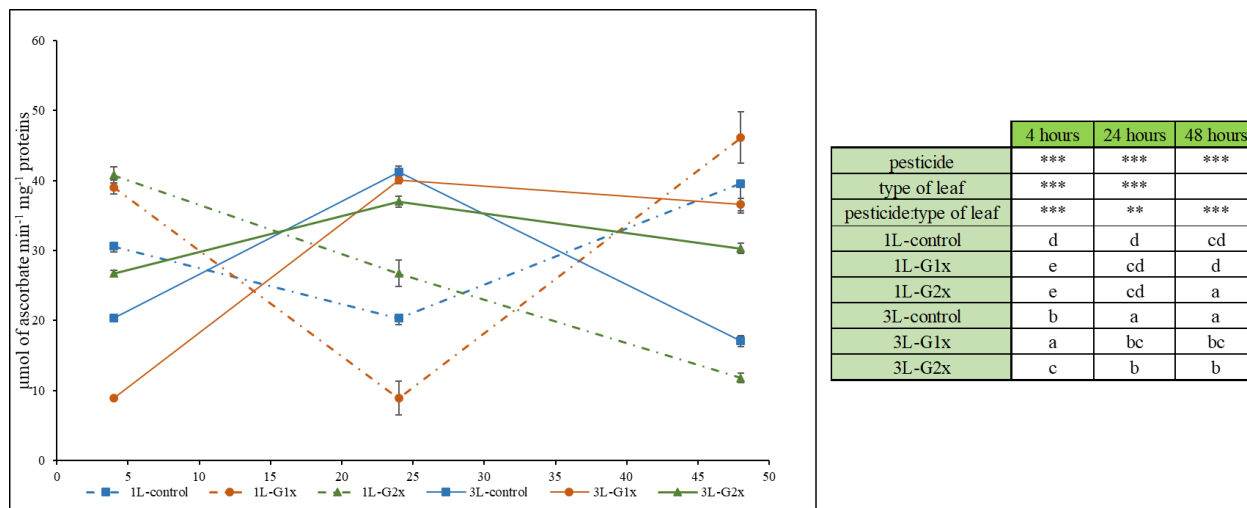


Fig. 4: The activity of APX in time (4, 24, and 48 hours after pesticide Gondola application) in the 1st pair of leaves (1L-control; 1L-G1x; 1L-G2x) and the 3rd leaf of courgette (3L-control; 3L-G1x; 3L-G2x). The values represent: means $\pm$ standard error. Different letters in the table on the right denote statistically significant differences between the treatments at one sampling time.

The different ability of plants to respond to organic chemicals, including pesticides, can be connected to the age of the plant as well as their ability to tolerate chemicals. Based on the literature, courgette plants are able to withstand the pressure caused by organic pollutants due to their ability to transport them to different tissues and their storage in several cell compartments /12/. Furthermore, while older tissues have in general higher oxidative activity due to aging, younger tissues can more abruptly change their metabolism and increase the production towards the protection against oxidative damage /13/. Both enzymes CAT and APX scavenge ROS; however, their action is localised in different compartments. Thus, various tissues utilize different enzymes at a certain time to coordinate antioxidant response /14/. Based on our results, it can be hypothesised, that while the maize older tissues respond abruptly after 24 hours of Gondola's application by increasing the activity of both APX and CAT, the courgette responds by increasing the activity of CAT in both younger and older tissues, and decreases the activity of APX in older tissues and simultaneously decreases its activity in younger tissues.

CONCLUSION

Our results proved the differences of antioxidant response between the maize and courgette plants to spray pesticide. Furthermore, we obtained results confirming the negative effect of pesticides on plant metabolism, which suggests that sulfoxaflor changes the plant's oxidative system; therefore, in higher doses sulfoxaflor can be dangerous to physiological fitness of the

plant. Moreover, younger tissues can have different responses to spray pesticide which underlines the necessity of precise application timing in agricultural practices.

REFERENCES

- /1/ Zhang, B., Lv, F., Yang, J.: Pesticides toxicity, removal and detoxification in plants: a review. *Agronomy*, 14, 2024: Article 1260.
- /2/ Zhan, X., et al.: Evolution and efficiency assessment of pesticide and fertiliser inputs to cultivated land in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 2021: 3771.
- /3/ Pandey, N., et al.: Role of climate change variables (standing water and rainfall) on dissipation of chlorantraniliprole from a simulated rice ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 2020: 111324.
- /4/ Shakirullah Khan, S., et al.: Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Ecotoxicology*, 27, 2018: 919–935.
- /5/ Mierzejewska-Sinner, E., et al.: Cucurbit plants for remediation of soils polluted with persistent and emerging organic pollutants: State of the art, future perspectives and challenges. In: Leung, F. (Ed.), *Advances in Botanical Research*, vol. 108.
- /6/ Bacci, L., Convertini, S., Rossaro, B.: A review of sulfoxaflor, a derivative of biological acting substances as a class of insecticides with a broad range of action against many insect pests. *Journal of Entomological and Acarological Research*, 50, 2018: Article 7836.
- /7/ Azpiazu, C., et al.: Toxicity of the insecticide sulfoxaflor alone and in combination with the fungicide fluxapyroxad in three bee species. *Scientific Reports*, 11, 2021: Article 6821.
- /8/ Hodges, D. M., et al.: Antioxidant enzyme and compound responses to chilling stress and their combining abilities in differentially sensitive maize hybrids. *Crop Science*, 37, 1997: 857–886.
- /9/ Nakano, Y., Asada, K.: Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 1981: 867–880.
- /10/ R Core Team : R — A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.
- /11/ Bradford, M. M.: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 1976: 248–254.
- /12/ Paladino, G. L., et al.: Selecting effective plant species for the phytoremediation of persistent organic pollutants and multielement contaminated fibrous sediments. *Environmental Sciences Europe*, 37, 2025: 117.
- /13/ Qi, J., et al.: Effects of plant age on antioxidant activity and endogenous hormones in Alpine *Elymus sibiricus* of the Tibetan Plateau. *PeerJ*, 11, 2023: e15150.
- /14/ Labancová, E., et al. : The cadmium tolerance development of poplar callus is influenced by silicon. *Ecotoxicology*, 29, 2020: 987–1002.

Acknowledgement

This work was funded by the COST action grant CA21134 - Towards zero Pesticide AGRiculture : European Network for sustainability (TOP-AGRI-Network).

ZMENY DRUHOVÉHO ZLOŽENIA TRÁVNEHO PORASTU V DÔSLEDKU SUCHA A ŽIVOTNÉ FORMY RASTLÍN

CHANGES IN THE SPECIES COMPOSITION OF GRASSLAND BASED ON PLANT LIFE FORM DUE TO DROUGHT

Norbert Britaňák¹, Katarína Hrčková², Ľubomír Hanzes¹

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum,
² Výskumný ústav rastlinnej výroby – ¹ Ústav trávnych porastov a horského
poľnohospodárstva, pracovisko Liptovský Hrádok, Dr. Gašperíka 599, 033 80 Liptovský
Hrádok, norbert.britanak@nppc.sk

Summary

Drought causes a decline in plant community production. If it lasts longer, it can cause changes in the composition of permanent grassland. The temperate grassland biome is predominantly composed of plants whose life form is hemicryptophyte. Drought, especially extreme or multiyear, can cause a shift in vegetation towards the dominance of therophytes or geophytes. In 2022, a drought occurred and it reduced plant cover on the surface of the lysimeter vessel, but also the species diversity. This development was compared with the grassland nearby (control treatment with no fertilization and the treatment with fertilization of N120P24) and the grassland in the mountainous area, which was treated in the same way. The occurrence of therophytes and geophytes after a drought is more likely in unfertilized grasslands and at lower altitudes.

Key words: drought, plant species, life-form

Súhrn

Sucho spôsobuje prepád produkcie rastlinných spoločenstiev. Ak trvá dlhšie môže spôsobiť zmeny v zložení trvalého trávneho porastu. Bióm trávnych porastov mierneho pásma tvoria v prevažne rastliny, ktorých životná forma je hemikryptofyt. Sucho, najmä viacročné, môže spôsobiť posun vo vegetácii smerom k dominancii terofytov či geofytov. V roku 2022 sa vyskytlo sucho, ktoré na povrchu izolovaného pôdneho monolitu lyzimetra zredukovalo pokryvnosť rastlín, ale aj druhovú pestrosť. Tento vývoj bol porovnávaný s trávny porastom v prirodzených podmienkach (kontrolný variant bez hnojenia a variant s aplikáciou N120P24) a trávny porastom v horskej výrobní oblasti, ktorý bol rovnako ošetrovaný. Výskyt terofytov a geofytov po suchu je viac pravdepodobný v nehnojených trávnych porastoch a v nižšej nadmorskej výške.

Kľúčové slová: sucho, rastlinný druh, životná forma rastlín

ÚVOD

Rýchlosť klimatickej zmeny na severnej pologuli na ornej pôde, ktorá bola vytvorená po listnatých a zmiešaných lesoch je 0,350 km.rok⁻¹ na sever, resp. smerom k severnému pólu.

Pre trvalé trávne porasty mierneho pásma 0,590 km.rok-1 /6/. Uvedené rýchlosti klimatickej zmeny sú udávané pre rovinu. Vertikálnym smerom, resp. so stúpajúcou nadmorskou výškou, je reálna rýchlosť v Európskych pohoriach 5,5 °C.km-1 nadmorskej výšky, tomu zodpovedá, že na 1 °C sa posunie hranica o 181,8 m n.v. Tempo dosahuje 8,25 m nadmorskej výšky.rok-1 /3/. Zmeny môžu byť však také výrazné, že nedostatok zrážok je možné detegovať počas viacerých rokov za sebou. Príčinou je zvýšená premenlivosť zrážok (menej frekventované, ale intenzívnejšie), vyššia evaporácia, alebo ich kombinácia/4/. Hoover and Smith (2025) /2/ a Chen *et al.* (2025) /4/ poukázali, že väčšina regiónov Zeme je v súčasnosti teplejšia viac, než v predchádzajúcich dekádach či storočiach. Pritom trvanie takéhoto typu sucha presahuje historickú premenlivosť klímy a mohlo by viesť k redukciám rastu vegetácie ako i zvýšeniu mortality rastlín. Navyše Hoover and Smith (2025) /2/ modelujú pri viacročnom trvaní sucha pre trvalé trávne porasty nasledovné: zníženie produktivity a menšiu pokryvnosť v prvom roku sucha. Pri viacročnom trvaní sucha nepredpokladajú, že by vôbec nejaká pokryvnosť bola a v dôsledku tohto sucha, by mali byť trváce rastliny nahradené jednoročnými.

Posun v životných formách rastlín trávneho porastu spôsobeného suchom je predmetom predloženého príspevku.

MATERIÁL A METÓDA

Na pokusnej lokalite NPPC – VÚRV v Borovciach (okres Piešťany) s nadmorskou výškou 161 m bol využitý pôdny monolit lyzimetrickej stanice. Je to izolovaný pôdny blok, odvrátený celistvo v neporušenom stave a osadený do nádoby v tvare valca s výškou 1,5 m a plochou 1 m². Vegetačný kryt je tvorený pôvodným trvalým trávnym porastom. V rokoch 2014 až 2018 boli vzorky pôdneho roztoku z rôznych hĺbok analyzované na prítomnosť dusičnanového dusíka. Všetky vzorky vykazovali nulové, resp. nestanoviteľné hodnoty. Preto sa pristúpilo k hnojeniu (N120P24) trávneho porastu, t.j. na kontrole. Zároveň sa začalo sledovať aj botanické zloženie. Vzhľadom na to, že okolitý priestor poskytuje možnosti ďalších sledovaní na pôvodnom trvalom trávnom poraste, bol založený aj experiment s hnojením. Pre tento príspevok využívame varianty N0P0 – kontrola, bez hnojenia; a N120P24 – kontinuálne hnojenie dusíkom a fosforom na úrovni 120 kg.ha⁻¹ N a 24 kg.ha⁻¹ P. Dávka dusíka bola delená na dve časti, pričom prvá dávka sa aplikovala na jar spolu s fosforom a druhá po prvej kosbe. Porasty sa využívali dvakrát ročne. Pre rovnocenné porovnania s lyzimetrom, aj každé zo štyroch opakovaní, pripadajúcich na variant malo plochu 1 m².

V katastri obce Liptovská Teplička (okres Poprad) bol založený obdobný experiment, rozšírený na 20 variantov (avšak bez lyzimetra). Nadmorská výška tejto lokality je 960 m. Do pozorovaní boli dva základné varianty: kontrolný N0 a kontinuálne hnojenie N120P24 v súlade s nížinnou lokalitou Borovce. Rovnako boli tieto varianty využívané dvakrát kosbou počas vegetačného obdobia. Vždy pred prvou kosbou bolo vykonané druhové botanické zloženie metódou redukovanej projektívnej dominancie.

V botanických zápisoch sme pre jednotlivé druhy uviedli životné formy z databázy PLADIAS /5/. Trvalé trávne porasty sú zložené prevažne z hemikryptofytov, ktoré majú vegetačné uzly chránené listami alebo listovými ružicami. Ich dominancia definuje tento bióm. Výskyt ďalších životných foriem (terofyt – semená jednoročných rastlín, geofyt – korene

trvácich rastlín, nanofanerofyty – kry a drevnatejúce bázy stoniek) bol predpokladaný vo väčšom zastúpení pri výskyte sucha.

Výskyt iných životných foriem než hemikryptofytov bol porovnávaný testom dobrej zhody (χ^2) a relativizovaný (%) k celému spoločenstvu vaskulárnych rastlín.

V MS Excel bol vypočítaný χ^2 . Párový t-test, nepárový Welchov t-test a pravdepodobnosti boli vypočítané pomocou www.graphadp.com/quickcalcs/

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V roku 2022 sa vyskytlo sucho. V dôsledku nedostatku atmosférických zrážok bol izolovaný monolit lyzimetra „bez vody“, čoho následkom bol vyschnutý vegetačný kryt, preto botanické zloženie nemohlo byť vykonané. Rovnako tak nebolo vykonané ani v nasledujúcom roku (výskyt najmä burinovej vegetácie, ktorá bola príliš odlišná ostatným variantom TTP). Preto v tabuľke 1 uvádzame hodnoty za roky 2021 (rok pred suchom) a 2024 (prvý hodnotený rok po suchu).

Počet všetkých vaskulárnych druhov sa na nehnojených variantoch, medzi zaznamenanými hodnotami a očakávaniami neodlišovali ($\chi^2 = 1,403$; kritická hodnota 5,99; $P > 0,49$). Hnojenie, vďaka redukcii počtu druhov na stanovišti Liptovská Teplička (tabuľka 1), spôsobilo ešte vyššiu nezávislosť ($\chi^2 = 0,62$; $P > 0,83$). Podobné výsledky analýz boli zaznamenané aj pri životnej forme hemikryptofytov: (nehnojené: $\chi^2 = 1,515$; $P > 0,46$ a hnojené: $\chi^2 = 0,650$; $P > 0,73$). Ostatné životné formy, kde dominovali najmä terofyty: nehnojené: $\chi^2 = 0,060$; $P > 0,97$; hnojené: $\chi^2 = 0,026$; $P > 0,98$.

Porovnanie očakávaných a skutočne zaznamenaných hodnôt medzi lyzimetrom a nehnojeným variantom na lokalite Borovce sa rovnako neodlišovalo od očakávaní: ($\chi^2 = 0,653$; kritická hodnota 3,84; $P > 0,41$). Zároveň sme medzi lyzimetrom a touto nehnojenou kontrolou použili aj neparametrický Welchov t-test. Všetky druhy sa v priemeroch nelíšili (lyzimeter: $13,50 \pm 0,50$ (priemer a SEM), N0P0: $16,00 \pm 2,31$; $t = 1,06$, $P = 0,40$). Pri hemikryptofytoch (lyzimeter: $11,50 \pm 2,50$; N0P0 $11,67 \pm 2,03$; $t = 0,05$; $P = 0,96$). Rovnako ani pri ostatných životných formách (lyzimeter: $2,00 \pm 2,00$; N0P0: $4,33 \pm 0,33$; $t = 1,15$; $P = 0,45$).

Párový t-test medzi stanovišťami poukázal na to, že aj medzi všetkými druhmi, nielen medzi hemikryptofytami existujú štatisticky preukazné rozdiely. Nehnojené varianty v priemere rokov: všetky druhy Borovce: $16,00 \pm 2,31$; Liptovská Teplička $35,30 \pm 1,86$; $t = 7,09$; $P = 0,019$. Pri hemikryptofytoch Borovce: $11,67 \pm 2,03$; Liptovská Teplička $32,33 \pm 1,86$; $t = 8,60$; $P = 0,0133$. Ostatné životné formy sa štatisticky marginálne odlišovali ($t = 4,00$; $P = 0,0572$). Hnojené varianty: všetky druhy Borovce: $16,00 \pm 1,00$; Liptovská Teplička $31,67 \pm 2,67$; $t = 6,71$; $P = 0,02015$. Pri hemikryptofytoch Borovce: $12,00 \pm 1,53$; Liptovská Teplička $28,67 \pm 2,73$; $t = 7,14$; $P = 0,0190$. Ostatné životné formy sa štatisticky marginálne vôbec nelíšili ($t = 2,00$; $P = 1,00$).

Lyzimetrická nádoba bráni laterálnemu pohybu vody. Preto v čase intenzívneho sucha a nedostatku zrážok došlo k úplnému výpadku vegetačného krytu. Stav pretrvával aj v nasledujúcom roku (okrem nesledovaných burín typických pre orné pôdy). Až v druhom roku po suchu bol zaznamenaný prienik siedmich druhov (*Arrhenatherum elatius*, *Achillea millefolium*, *Carduus nutans*, *Festuca arundinacea*, *F. rubra*, *Silene latifolia* a *S. vulgaris*),

ktoré sa vyskytovali pred suchom, t.j. v roku 2021. Týchto sedem druhov predstavuje 50% pôvodného stavu, a zároveň 54% zo stavu po suchu. Avšak pokryvnosť druhov izolovaného monolitu dosahovala iba 66% (Tabuľka 1). Viacročný vývoj druhového zloženia porastu na povrchu monolitu, s vylúčením bočného toku vody, bez spojitosti s podzemnou vodou, iba na vstupe atmosférických zrážok, zodpovedá predikcii /2/, ale napriek výskytu sucha, nie je trvalá vegetácia trávneho porastu plne nahradená jednoročnými druhmi.

Z výsledkov pokryvnosti sledovaných variantov a na oboch stanovištiach vyplýva, že nehnojené varianty v čase sucha nielenže znižujú druhovú pestrosť, ale aj pokryvnosť. Naopak, hnojenie dusíkatými a fosforečnými hnojivami mierne zvýšilo uvedený ukazovateľ (tabuľka 1). Uvedené súhlasí s výsledkami zaznamenanými /1/.

Tabuľka 1: Početnosť druhov (ks) na základe životných foriem a celková pokryvnosť v sledovanom období

	Lyzimeter		Borovce						Liptovská Teplička					
			N ₀ P ₀			N ₁₂₀ P ₂₄			N ₀ P ₀			N ₁₂₀ P ₂₄		
	2021	2024	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Všetky druhy	14	13	16	12	20	17	14	17	39	33	34	37	29	29
Hemikryptofyt	14	9	12	8	15	3	9	14	36	30	31	34	25	27
Ostatné formy	0	4	4	4	5	4	5	3	3	3	3	3	4	2
Ostatné (%)	0	31	25	33	25	24	36	18	8	9	9	8	14	7
Pokryvnosť (%)	99	66	95	82	94	97	99	98	93	92	99	98	99	98

ZÁVER

Počas sucha dochádza k redukcii druhového zloženia trávnych porastov. Ide najmä o hemikryptofyty a na nehnojených variantoch. Ostatné životné formy, prevažne terofyty, zvyšujú svoje zastúpenie práve počas obdobia sucha. Aplikácia hnojív stabilizuje pokryvnosť. Zmena druhového zloženia v dôsledku sucha je výraznejšia na nižšom stanovišti, než v horskej výrobnnej oblasti.

REFERENCES

- /1/ Hanzes, E., Britaňák N., Kizeková M.: Vplyv abiotických faktorov na pôdu, produkciu a biodiverzitu revitalizovaného trávneho porastu. 2025. V tomto zborníku.
- /2/ Hoover D.L, Smith W.K.: Ecology: The growing threat of multiyear droughts. Science 387, 2025: 246-247.
- /3/ Chan W.-P., Lenoir J., Mai G.-S., Kuo H.C., Chen I.-C., Shen S.-F.: Climate velocities and species tracking in global mountain regions. Nature 629, 2024, 114-120.
- /4/ Chen L., Brun P., Buri P., Fatichi S., Gessler A., McCarthy M.J., Pellicciotti F., Stocker B., Karger D.N.: Global increase in the occurrence and impact of multiyear drought. Science, 387, 2025: 278-284.
- /5/ Chytrý M., Danihelka J., Kaplan Z., Wild J., Jolubová D., Novotný P., Rezníčková M., Rohn M., Dřevojan P., Grulich V., Klimšová J., Lepš J., Lososová Z., Pergl J., Sádlo J., Šmarda P., Štěpánková P., Tichý L., Axmanová I., Bartušková A., Blažek P., Chrtěk J. Jr., Fischer F.M., Guo W.-Y., Herben T., Janovský Z., Konečná M., Kühn I., Moravcová L., Petřík P., Pierce S., Prach K., Prokešová H., Štech M., Těšitel J., Těšitelová T., Večeřa M., Zelený D., Pyšek P.: Pladias Database of the Czech Flora and Vegetation. Preslia, 93, 2021: 1-87.
- /6/ Loarie S.R., Duffy P.B., Hamilton H., Asner G.P., Field C.B., Ackerly D.D.: The velocity of climate change. Nature, 462, 2009, 1052-1055.

ROZDIELY VO FYZIOLOGICKÝCH ODPOVEDIACH KULTIVAROV BAZALKY NA ZVLÁDANIE STRESU ZO SUCHA

DIFFERENCES IN PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF BASIL CULTIVARS TO MANAGE DROUGHT STRESS

Mária Padyšáková¹, Zuzana Vivodová², Marko Bajus², Karin Kollárová²

¹Department of Plant Physiology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 84215 Bratislava, Slovakia

²Department of Glycobiotechnology, Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 5807/9, 845 38 Bratislava, Slovakia
karin.kollarova@savba.sk

Summary

In this study, two basil (*Ocimum basilicum* L.) varieties, green ('Genovese') and purple ('Dark Opal'), were grown under control (well-watered) and drought conditions. Shoot length was monitored for 72 days, revealing growth inhibition in both varieties under drought stress. The reduction in shoot elongation was more pronounced in the green variety. Total phenolic concentration was determined at the end of the experiment. Drought stress affected phenolic content in both varieties, but the effect was especially pronounced in the purple variety. In the purple basil, phenolic concentration under drought was significantly higher than in its control, indicating a strong biochemical response to water limitation. These findings suggest varietal differences in physiological and biochemical responses to drought stress in basil. Overall, the purple variety showed more efficient activation of secondary metabolite production.

Key words: basil, plant growth, total phenol concentration, water stress

Súhrn

V tejto štúdii boli pestované dve odrody bazalky (*Ocimum basilicum* L.), zelená ('Genovese') a fialová ('Dark Opal') v kontrolných (dobře zavlažovaných) a suchých podmienkach. Dĺžka nadzemnej časti bola sledovaná počas 72 dní, pričom sa zistila inhibícia rastu oboch odrôd vystavených stresu zo sucha. Inhibícia rastu nadzemnej časti bola výraznejšia v zelenej odrode. Celková koncentrácia fenolov bola stanovená na konci experimentu. Stres zo sucha ovplyvnil obsah fenolov v oboch odrodách, ale tento účinok bol výraznejší vo fialovej odrode. Vo fialovej bazalke bola koncentrácia fenolov v suchu výrazne vyššia ako v kontrole, čo naznačuje silnú biochemickú reakciu na stres zo sucha. Tieto zistenia naznačujú rozdiely medzi odrodami vo fyziologických a biochemických reakciách bazalky na stres zo sucha. Celkovo účinnejšia aktivácia produkcie sekundárnych metabolitov sa prejavila vo fialovej odrode.

Kľúčové slová: bazalka, celková koncentrácia fenolov, rast rastlín, stress zo sucha

INTRODUCTION

Abiotic stresses such as drought, heat stress, or high salinity are significantly impacting plant growth and development. Adaptation of plants to perceive climate changes is crucial to especially in fields like agriculture, medicine, or pharmacology. This understanding is particularly important because stunted growth and reduced yields diminish agricultural efficiency and crop productivity, serving as early signs of abiotic stresses /1/. One of the main pathways of plants' response to stressors is by producing secondary metabolites. Although these compounds do not directly participate in primary metabolism of proteins or sugars, they play a vital role in protecting the plant organism against stressors /2/. Production of phenolic secondary metabolites, such as lignins, tannins, and anthocyanins, is a key pathway through which plants counteract unfavourable conditions, primarily via their antioxidant properties /3/.

Basil (*Ocimum basilicum* L.) is a plant known for its production of secondary metabolites, and its purple variety contains high levels of anthocyanins. We therefore subjected both green and purple varieties to drought conditions and monitored their physiological responses.

MATERIALS AND METHODS

Basil (green: *Ocimum basilicum* L. 'Genovese' and purple: *Ocimum basilicum* L. 'Dark Opal') seeds were planted in soil and allowed to germinate and grow for 30 days. Afterwards, the seedlings with a shoot length of 1.5 - 2.5 cm for green and 1.5 - 2.0 cm for purple variety were selected, transplanted into separate pots. Plants were further grown under controlled conditions (25 ± 1 °C, 60% humidity, 16/8-hour photoperiod) for the next 72 days. The plants were either well-watered (70% field water capacity) or watered to simulate drought (35% of field water capacity). The shoot length was measured every two weeks through 6 weeks. After 72 days, fresh plant material was used for further analyses. The total phenolic content in basil leaves was determined using the Folin–Ciocalteu colorimetric method. Homogenized leaves (1 g) were macerated in 70% methanol for 72 hours and centrifuged at 12,000 g for 20 minutes. Supernatant was used for the analysis of total phenolic content, according to the protocol of Thaipong /4/. We statistically evaluated the differences between individual experimental groups by Tukey's one-factor analysis of variance test at $p < 0.05$ using the statistical program Statistica.

RESULTS AND DISCUSSION

In both varieties, shoot length progressively increased throughout the experimental period. The plants under drought stress exhibited reduced growth compared to the control (Fig. 1). The plants of the green variety cultivated in control conditions displayed a rapid increase in shoot length from 28 days onwards, reaching approximately 49 cm by 72 days (Fig. 1A). The plants affected by water limitations grew more slowly, reaching only about 31 cm at the end of the experiment. Similarly, in the plants of the purple variety, shoot growth was slower in drought-treated plants, with final lengths of around 24 cm compared to approximately 30 cm in the control (Fig. 1B). In both varieties, the differences between treatments became more pronounced after 28 days (Fig. 1). Overall, drought stress substantially reduced shoot elongation in both basil varieties, with the effect being more pronounced in the green variety. Drought stress is known to reduce plant growth by limiting cell expansion, decreasing photosynthetic activity, and impairing water relations /5/. In basil, water deficit conditions often

lead to slower shoot elongation and lower biomass accumulation, as plants allocate more resources to survival mechanisms rather than vegetative growth.

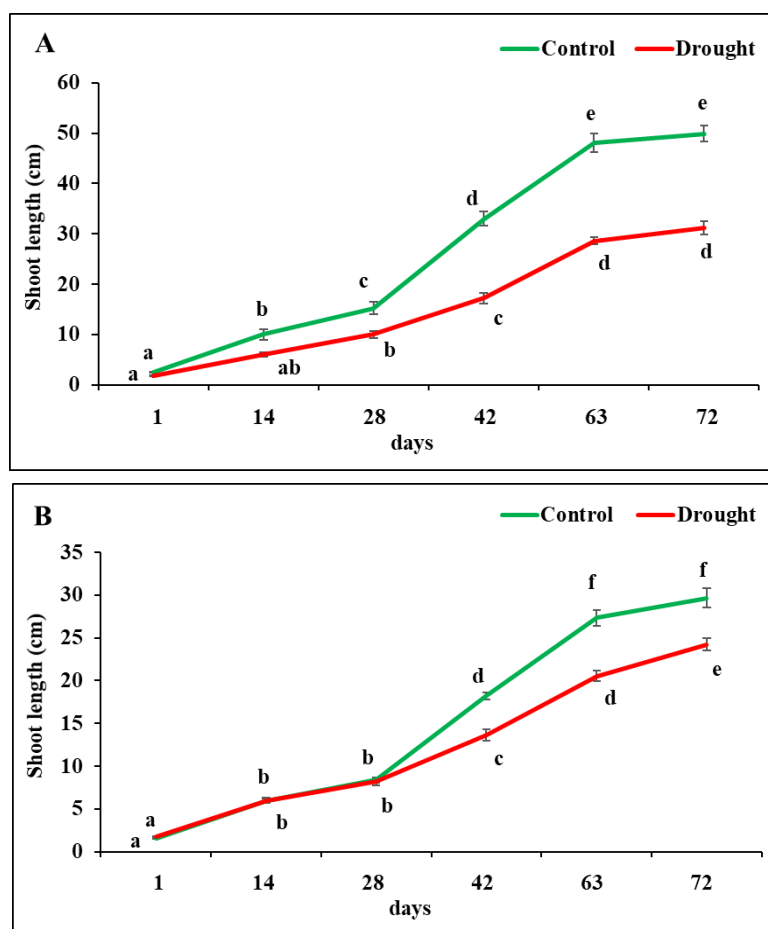


Fig. 1. Shoot growth curve of green (A) and purple (B) varieties of basil (*Ocimum basilicum* L.). The values are means $\pm$ SE (standard error). Different letters denote statistically significant differences between individual treatments at $p < 0.05$.

The total phenolic concentration exhibits variation between basil varieties and treatments. (Fig. 2) In the green variety, drought-stressed plants showed a slight but not statistically significant increase in total phenolic concentration compared to the control (approximately 1.65 vs. 1.45 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW, FW – fresh weight). In the purple variety, drought stress caused a statistically significant increase, from about 0.95 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW in the control to approximately 1.65 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW under drought conditions. It is well established that drought stress can stimulate the accumulation of phenolic compounds in basil and other plant species [6, 7]. This increase is often considered part of the plant's defence mechanism, as phenolics act as antioxidants that help mitigate oxidative damage caused by water deficit. The enhancement of phenolic biosynthesis under drought is linked to the activation of the phenylpropanoid pathway, which strengthens the plant's tolerance to stress conditions.

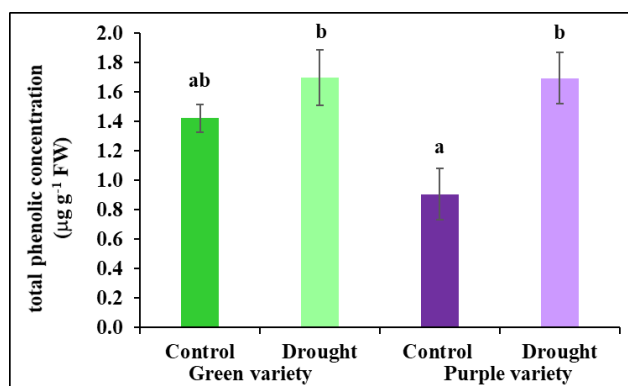


Fig. 2. The total phenolic concentration in green (A) and purple (B) varieties of basil (*Ocimum basilicum* L.). The values are means $\pm$ SE (standard error). Different letters denote statistically significant differences between individual treatments at $p < 0.05$. FW – fresh weight

CONCLUSION

The results show that drought decreased the shoot length of both basil varieties and increased phenolic concentration in the purple variety. Therefore, based on our preliminary results, it is important to focus on reducing the stress induced by excessive drought, as high agricultural and production losses occur.

REFERENCES

- /1/ Yasmin, H., Chakraborty, T. The impact of abiotic stresses on plant growth and development. *International Journal of Advanced Research*, 11, 2023: 249-257.
- /2/ Nawrot-Chorabik, K., Sulkowska, M., Gumulak, N., Secondary Metabolites Produced by Trees and Fungi: Achievements So Far and Challenges Remaining. *Forests*, 13, 2022: 1338.
- /3/ Li, Z., Golam Jalal, A., Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. *Plant Stress* 10, 2023: 100230–100230.
- /4/ Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assay for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19, 2006: 669-675.
- /5/ Shanawaz, S., Hussain, A., Hussain S.J., et al. Plant drought stress tolerance: understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 35, 2021: 1912-1925.
- /6/ Lopes, A.S., Dias, T.J., Henschel, J.M et al. Methyl jasmonate mitigates drought stress in purple basil by enhancing photosynthesis and secondary metabolism. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44, 2024, 233-246.
- /7/ Kulbat, K., The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnology and Food Sciences*, 80 (2), 2016, 97-108.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Scientific Grant Agency VEGA no. 2/0055/22.

**ROZDIEL VO FYZIOLOGICKÝCH ODPOVEDIACH KULTIVAROV
PETRŽLENU (*PETROSELINUM CRISPUM* MILL.) NA ZASOLENIE*****DIFFERENCE IN PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF PARSLEY (*Petroselinum
crispum* Mill.) CULTIVARS TO SALINITY***

Dáša Sáková¹, Alexandra Králová², Marko Bajus¹, Zuzana Vivodová¹

¹ Department of Glycobiotechnology, Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences,
Dúbravská cesta 9, 845 38 Bratislava, Slovakia

² Department of Plant Physiology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University in
Bratislava, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 84215 Bratislava, Slovakia

Summary

The aim of this study was to determine the effect of salinity stress on parsley plant growth and the differences in responses to salinity stress between two cultivars (flat-leaf and curly-leaf) of parsley (*Petroselinum crispum* Mill.). The plants were grown in soil for 3 months in a cultivation chamber. Once a week, the plants were treated with potassium salt. Plant leaves were collected after cultivation in order to get and analyze the data. Salinity had negative effects on the growth parameters. Under the influence of salinity, the parsley plants exhibited lower growth parameters than the control plants, and the electrolyte outflow was higher. The influence of salt stress depended on the cultivar.

Key words: outflow of electrolytes, parsley, physiological responses, salinity

Súhrn

Cieľom tejto štúdie bolo preskúmať vplyv zasolenia na rast rastlín petržľenu a rozdiely v odpovediach na stres zo zasolenia medzi dvoma kultivarmi (hladkého a kučeravého) petržľenu (*Petroselinum crispum* Mill.). Rastliny sme pestovali počas 3 mesiacov v kultivačnej komore. Raz za týždeň boli rastliny ošetrované draselnou soľou. Listy rastlín sme zozbierali po skončení kultivácie za účelom získania dát a ich vyhodnotenia. Zasolenie malo negatívny vplyv na rastové parametre. Rastliny petržľenu, ktoré sme vystavili stresu zo zasolenia mali nižšie rastové parametre ako kontrolné rastliny a výtok elektrolytov bol pri strese zo zasolenia vyšší. Reakcia rastlín na stres závisela od daného kultivaru.

Kľúčové slová: fyziologické odpovede, petržlen, zasolenie, výtok elektrolytov

INTRODUCTION

Over the past 20 years, there has been a significant global increase in crop yield demands to meet the rapidly growing human population /1/. Therefore, increasing crop productivity and quality has emerged as a pressing worldwide agricultural problem. One significant environmental issue endangering agriculture is soil salinization /2/. Soil salinization has a negative impact on about 20% of the world's irrigated agricultural lands /3/. Climate change, inadequate irrigation techniques, and degradation of the natural environment all exacerbate

problems with soil salinization /4,5/. Therefore, addressing the growing threat of soil salinization is essential to successfully boosting agricultural yields. Salt stress negatively affects plants by obstructing seed germination, growth and development, as well as flowering and fruiting /6,7/. Salt stress collectively induces a range of physiological and molecular alterations, hindering plant growth by obstructing photosynthesis, which in turn diminishes available resources and suppresses both cell division and expansion /8/. We worked with the herb parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) which belongs to the Apiaceae family and is a biennial /9/. It is abundant in naturally occurring antioxidants /10/. We focused on the salt stress which causes damage to plants and decreases their vitality.

MATERIAL AND METHODS

Under carefully monitored conditions, parsley plants (*Petroselinum crispum* Mill.) were grown in soil within the cultivation chamber for 3 months (temperature 25/20 °C, photoperiod 16 h light/8h dark, light intensity 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 60% air humidity). Once a week, the plants were treated with potassium salt in concentration 5g/150 ml water (8 times higher than recommended) (salt conditions), which was eight times more potent than what would normally be found in the soil (control conditions). Treatments were: FLP 1 – flat-leaf parsley in control conditions, FLP 2 – flat-leaf parsley in salt conditions, CLP 1 – curly-leaf parsley in control conditions, CLP 2 – curly-leaf parsley in salt conditions. The length of the above ground parts was measured continuously every 2 weeks starting from the 17th day of cultivation. Plant leaves were collected after cultivation to analyze the following growth parameters: length of above ground parts, number of leaves, percentage of dry matter. The outflow of electrolytes was determined according to Lutts et al. /11/ on OK-104 conductometer. Using Statistica (StatSoft, Tulsa, USA), a Tukey's one-factor analysis of variance test at $p < 0.05$ was used to assess differences between the experimental groups.

RESULTS AND DISCUSSION

In our study, we examined the effects of salinity stress on parsley plants growing in soil for three months. We focused on evaluating growth parameters and electrolyte leakage of parsley plants.

The salinity stress significantly affected the length of the above ground parts of parsley and also the number of leaves (Fig. 1). Flat-leaf and curly-leaf cultivars of parsley in salt conditions had shorter shoots in comparison with the control treatments, and a more significant difference was in the curly-leaf cultivar in comparison with the flat-leaf cultivar (Fig. 1A). Both flat-leaf and curly-leaf cultivars had lower number of leaves in salt conditions (Fig. 1B). Similarly, it was found that the average height and number of leaves of eggplant plants (*Solanum melongena* L.) decrease with increasing KCl concentration /12/. The three varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L. varieties Sarsabz, Kiran-95, and Pasban-90) reacted differently to salinity, Pasban-90 was the most sensitive /13/.

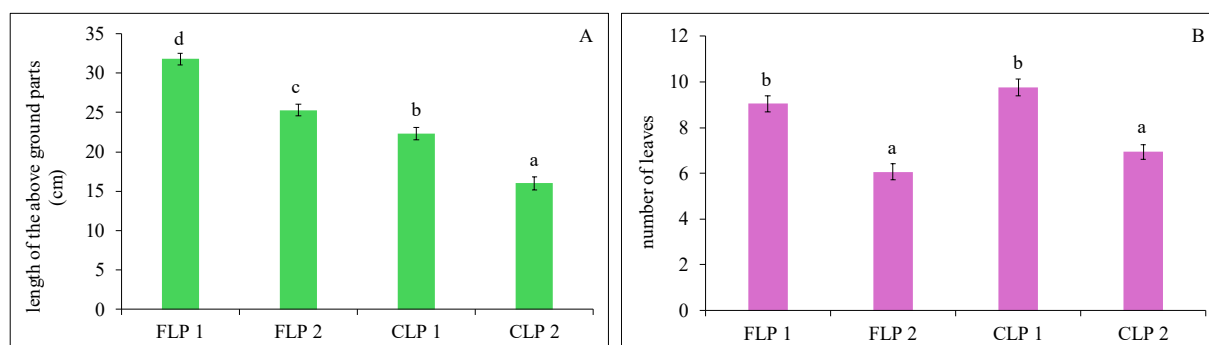


Fig. 1: The length of parsley above ground parts (A) and the number of leaves in parsley plants (B). FLP 1 – flat-leaf parsley in control conditions, FLP 2 – flat-leaf parsley in salt conditions, CLP 1 – curly-leaf parsley in control conditions, CLP 2 – curly-leaf parsley in salt conditions. The values are means $\pm$ SE (standard error). Different letters denote statistically significant differences between individual treatments at $p < 0.05$.

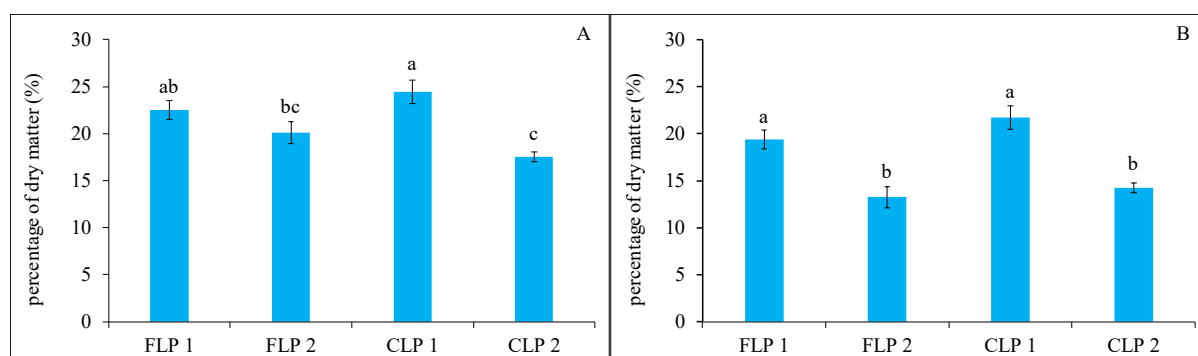


Fig. 2: The percentage of dry matter of parsley roots (A) and the above ground parts (B). FLP 1 – flat-leaf parsley in control conditions, FLP 2 – flat-leaf parsley in salt conditions, CLP 1 – curly-leaf parsley in control conditions, CLP 2 – curly-leaf parsley in salt conditions. The values are means $\pm$ SE (standard error). Different letters denote statistically significant differences between individual treatments at $p < 0.05$.

Salinity did not significantly affect the percentage of dry matter in roots of the flat-leaf cultivar of parsley (Fig. 2). In the curly-leaf cultivar, the percentage of dry matter of roots was lower (by 28.4%) than in the control (CLP 1) (Fig. 2A). The salinity stress significantly lowered the percentage of dry matter in the above ground parts of parsley plants in both flat-leaf (by 31.7%) and curly-leaf cultivars (by 34.5%) (Fig. 2B). It was found that treatment of NaCl in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) resulted in reduced dry weight by about 65% /14/. Similarly, salt stress (NaCl + Na₂SO₄) in ginger (*Zingiber officinale* L. Roscoe) hindered the growth of seedlings. The fresh weights of the root (44.96%), stem (75.34%), leaf (73.81%), and rhizome (63.03%) decreased /15/. It is evident from literature and from our results that increased concentration of K⁺ has less damaging effect on plant growth than Na⁺.

The salinity stress significantly increased the outflow of electrolytes in roots in the flat-leaf cultivar of parsley (by 1.5-times) in comparison to the curly-leaf cultivar (by 1.03-times) (Fig. 3A). However, in the above ground parts of the curly-leaf cultivar, the outflow of electrolytes increased more (by 6-times) than in the flat-leaf cultivar (by 3-times) (Fig. 3B). Salinity (NaCl) in radish (*Raphanus sativus* L.) caused not only an increase in outflow of

electrolytes, which indicates damage to membrane integrity, but also caused oxidative stress /16/. The application of salt treatment on tomato (*Solanum lycopersicum*. cv. Supermarmande) resulted in a reduction in plant growth, and relative electrolyte leakage increased proportionally with the NaCl concentrations /17/.

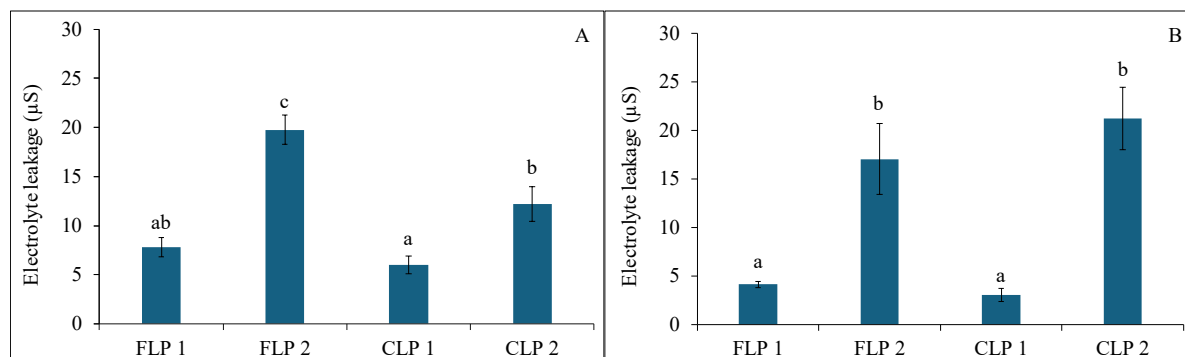


Fig. 3: The outflow of electrolytes off the roots (A) and the above ground parts of parsley at the end of the experiment (B). FLP 1 – flat-leaf parsley in control conditions, FLP 2 – flat-leaf parsley in salt conditions, CLP 1 – curly-leaf parsley in control conditions, CLP 2 – curly-leaf parsley in salt conditions. The values are means $\pm$ SE (standard error). Different letters denote statistically significant differences between individual treatments at $p < 0.05$.

CONCLUSION

Salinity had negative effects on the growth parameters. The stress caused by salinity affects both variants of parsley differently. The flat-leaf parsley cultivar is more tolerant to salt stress in comparison with the curly-leaf parsley cultivar.

REFERENCES

- /1/ Savary, S., Akter, S., Almekinders, C., Harris, J., Korsten, L., Rötter, R., Waddington, S., Watson, D. Mapping disruption and resilience mechanisms in food systems. *Food Security*, 12, 2020: 695–717.
- /2/ Hazell, P.B.R., Wood, S. Drivers of change in global agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 2007: 495–515.
- /3/ Qadir, M., Quillérrou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel, P., Noble, A.D. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38, 2014: 282–295.
- /4/ Park, H.J., Kim, W.-Y., Yun, A.D.-J. A new insight of salt stress signaling in plant. *Molecules and Cells*, 39, 2016: 447–459.
- /5/ Ziska, L.H., Bunce, J.A., Shimono, H., Gealy, D.R., Baker, J.T., Newton, P.C.D., Reynolds, M.P., Jagadish, K.S.V., Zhu, C., Howden, M., et al. Food security and climate change: On the potential to adapt global crop production by active selection to rising atmospheric carbon dioxide. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279, 2012: 4097–4105.
- /6/ Quan, R., Lin, H., Mendoza, I., Zhang, Y., Cao, W., Yang, Y., Shang, M., Chen, S., Pardo, J.M., Guo, Y. SCABP8/CBL10, a putative calcium sensor, interacts with the protein kinase SOS2 to protect Arabidopsis shoots from salt stress. *Plant Cell*, 19, 2007: 1415–1431.
- /7/ Park, H.J., Kim, W.-Y., Yun, D.-J. A role for GIGANTEA. *Plant Signaling and Behavior*, 8, 2013: e24820.
- /8/ Van Zelm, E., Zhang, Y., Testerink, C. Salt tolerance mechanisms of plants. *The Annual Review of Plant Biology*, 71, 2020: 403–433.
- /9/ Aćimović, M.G., Milić, N.B. Perspectives of the Apiaceae hepatoprotective effects—A review. *Natural Products Communication*, 12, 2017: 309–317.
- /10/ Emad, A.M., Ali, S.F., Abdel-Rahman, E.A., Meselhy, M.R., Farag, M.A., Ali, S.S., Abdel-Sattar, E.A. Anti-inflammatory and antioxidant effects of *Apium graveolens* L. extracts mitigate against fatal acetaminophen-induced acute liver toxicity. *Journal of Food Biochemistry*, 44, 2020: e13399.
- /11/ Lutts, S., Kinet, J. M., Bouharmont J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 1996: 389–398.

- /12/ Wali, S., Uddin, S., Junaid, M., Ahmad, G., Rahim, F. Effects of different concentrations of potassium chloride on some growth parameters of *Solanum melongena* L. *Pakistan Journal of Botany*, 52, 2020.
- /13/ Shirazi, M.U., Khanzada, B., Ali, M. et al. Response of three wheat genotypes grown under saline medium to low/high potassium levels. *Acta Physiologiae Plantarum*, 24, 2002: 157–161.
- /14/ Verma, T., Bhardwaj, S., Raza, A., Djalovic, I., Prasad, P.V., Kapoor, D. Mitigation of salt stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) by the application of triacontanol and hydrogen sulfide. *Plant Signaling and Behavior*, 18, 2023: 2189371.
- /15/ Liu, M., Lv, Y., Cao, B., Chen, Z., Xu, K. Physiological and molecular mechanism of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) seedling response to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 2023: 1073434.
- /16/ Henschel, J.M., Dias, T.J., de Moura, V.S., de Oliveira Silva, A.M., Lopes, A.S., da Silva Gomes, D., Araujo, D.J., Silva, J.B.M., da Cruz, O.N., Batista, D.S. Hydrogen peroxide and salt stress in radish: effects on growth, physiology, and root quality. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 7, 2024: 1175-1184.
- /17/ Manaa, A., Ahmed H.B., Smiti, S., Faurobert, M. Salt-stress induced physiological and proteomic changes in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, 15, 2011.

Acknowledgements

This work was funded by COST Action CA22144 – Sustainable use of salt-affected lands (SUSTAIN).

VLIV REDUKOVANÉ ZÁLIVKY NA OBSAH MALONDIALDEHYDU V LISTECH VYBRANÝCH GENOTYPŮ *PRUNUS AVIUM* L.

THE EFFECT OF REDUCED IRRIGATION ON MALONDIALDEHYDE CONTENT IN LEAVES OF SELECTED GENOTYPES OF *PRUNUS AVIUM* L.

Jan Kubeš, František Hnilička

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká
129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, kubes@af.czu.cz; hnilicka@af.czu.cz

Summary

In 2024, an experiment was conducted in collaboration with the Research and Breeding Institute of Pomology to study the potential resistance to stress caused by reduced watering within selected genotypes of sweet cherry (*Prunus avium* L.) on Gisela 5 rootstock. The cherry trees were grown in containers under plastic sheeting; irrigation was reduced by half for 14 days for one group of observed plants compared to the control ones. After this interval, watering was fully restored, and the reduction/rehydration cycle was repeated once more. In terms of malondialdehyde content, differences were observed in the monitored plants both between the control variants of individual genotypes and within the variants with reduced watering. Two genotypes (13477 and 13420) appeared to be promising, but the measurements will need to be supplemented with further biochemical and physiological analyses.

Key words: sweet cherry, Prunus avium L., water stress, leaves extracts, malondialdehyde

Souhrn

V roce 2024 byl ve spolupráci s Výzkumným šlechtitelským ústavem ovocnářským Holovousy proveden experiment sledující možnou odolnost vybraných genotypů třešně ptačí (*Prunus avium* L.) na podnoži Gisela 5 proti stresu vyvolaném sníženou zálivkou. Stromy třešní byly pěstovány v nádobách pod foliovým krytem a v rámci pokusu byla u vybraných jedinců vždy na 14 dní snížena zálivka na polovinu oproti kontrole. Po tomto intervalu bylo množství dodávané vody opět plně obnoveno a následně byl cyklus redukce/rehydratace ještě jednou zopakován. Z hlediska obsahu malondialdehydu byly u sledovaných rostlin pozorovány rozdíly jak mezi kontrolními variantami jednotlivých genotypů, tak i v rámci variant se sníženou zálivkou. Z vybraných zástupců se jako perspektivní jeví zejména dva genotypy (13477 a 13420), měření však bude třeba doplnit ještě o další biochemické a fyziologické analýzy.

Klíčová slova: třešeň ptačí, Prunus avium L., vodní stres, extrakty z listů, malondialdehyd

ÚVOD

Nedostatek vody patří mezi jeden z faktorů, který může mít významný vliv na fyziologické procesy v rostlinách. U různých plodin může negativně ovlivnit výnos, případně se podílet na zvýšených ekonomických nárocích pro jejich pěstování /1/.

Podobně jako i při působení dalších stresových faktorů, abiotických i biotických, dochází vlivem sucha k nárůstu reaktivních sloučenin kyslíku (ROS) či dalších látek, které v případě nedostatečného zneškodnění mohou poškozovat různé buněčné struktury. Jedním z parametrů, který je z tohoto pohledu často sledován, je množství malondialdehydu, který může vznikat v důsledku působení volných radikálů na vyšší nenasycené mastné kyseliny podílející se na stavbě buněčných membrán /2, 3/. Na regulaci nadměrného množství ROS se podílí různé mechanismy zahrnující jak enzymy (kataláza, superoxiddismutáza, peroxidáza), tak i metabolity s antioxidační či jinou protektivní aktivitou /2, 4/.

Třešeň ptačí (*Prunus avium* L.) z čeledi růžovitých (*Rosaceae*) patří z hlediska jejích plodů mezi jedny z oblíbených druhů pěstovaných nejen v České republice /5/. Kromě nutričního významu jsou plody díky pestrému obsahu biologicky aktivních látek sledovány i z hlediska využití při léčbě různých chorob. V posledních letech přibývají i studie, který tento účinek studují i u extraktů připravených z listů třešní /6/.

MATERIÁL A METODY

Jednotlivé vybrané genotypy *P. avium* (zde značené jako PaG1-6, Tabulka 1) byly pěstovány v nádobách pod foliovým krytem ve Výzkumném a šlechtitelském ústavu ovocnářském Holovousy s.r.o od roku 2023, kdy byly vysazeny jako jednoleté. Všechny genotypy byly na podnoži Gisela 5, na začátku vlastního experimentu v červnu 2024 byla plná zálivka udržována (15 l/15 min/den) u všech jedinců, po 14 dnech byla u vybraných zástupců od každého genotypu snížena na polovinu a po dvou týdnech obnovena na původní objem. Tento postup redukce a opětovného navýšení dodávané vody byl zopakován ještě jednou, u všech stromků byly na konci 14denního cyklu odebrány listy pro analýzu obsahu malondialdehydu dle příslušné metodiky /7/.

Listy zbavené střední žilky a řápíku (0,5 g) byly rozdrceny v tekutém dusíku na jemný prášek, který byl dále extrahován 10,5 ml ethanolu. Stejný objem extraktu byl smíchán s roztokem trichloroctové kyseliny obsahující kyselinu 2-thiobarbiturovou a směs byla zahřívána při 95 °C na vodní lázni. Po vychladnutí byl roztok odstředěn při 11 000 otáčkách/min a absorbance supernatantu změřena na UV/Vis spektrofotometru při vlnových délkách 600, 532 a 440 nm proti vodě. Ze zjištěných hodnot absorbancí byl následně vypočítán obsah MDA v nmol/g čerstvé váhy (fresh weight – FW).

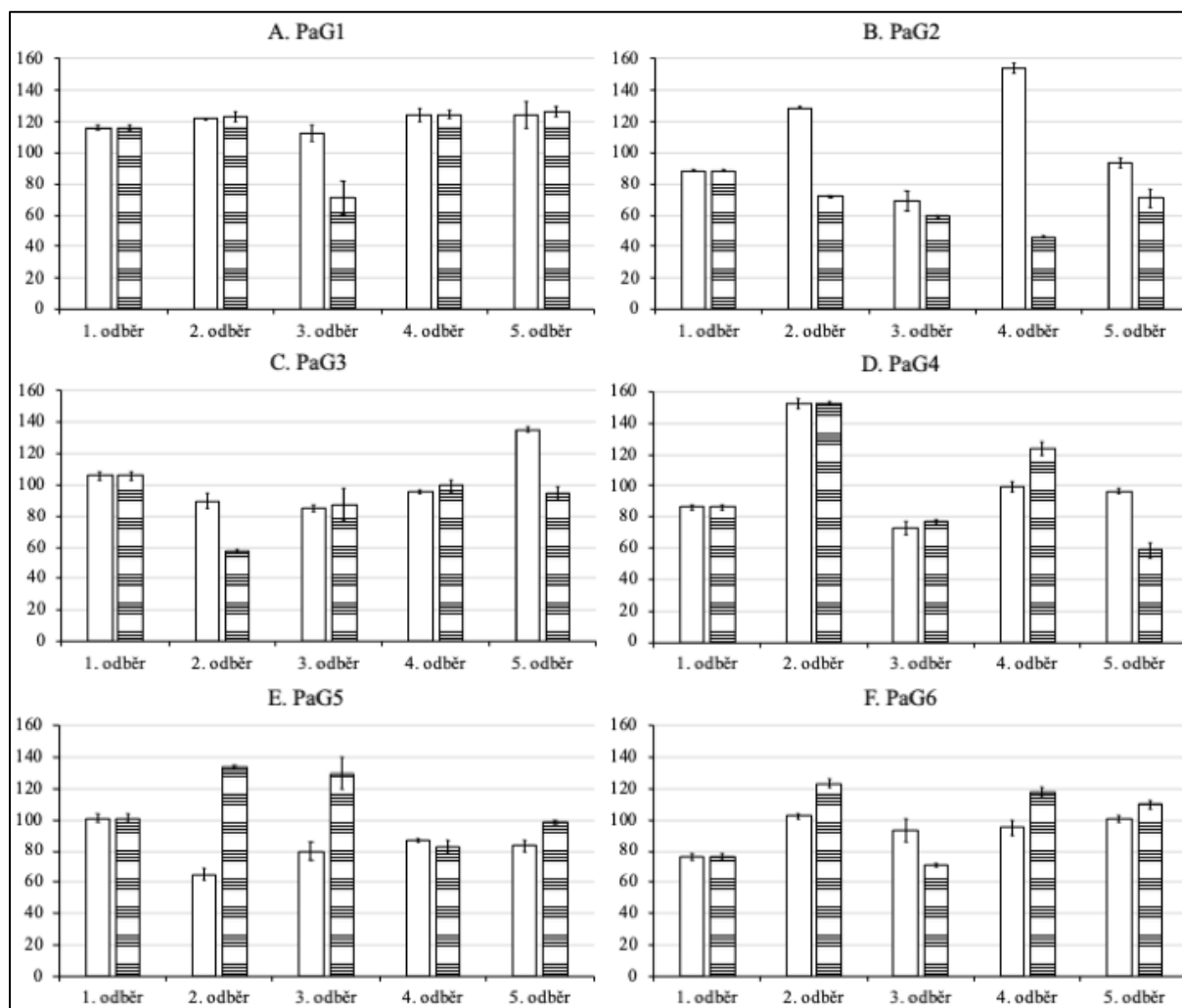
Tabulka 1: Sledované genotypy pěstované v VŠÚO Holovousy

Označení	Kód VŠÚO	Označení	Kód VŠÚO
PaG1	13477	PaG2	13976
PaG3	13420	PaG4	16862
PaG5	15585	PaG6	16755

VÝSLEDKY A DISKUSE

Jak ukazuje Graf 1, obsah malondialdehydu v listech *P. avium* se lišil již u vzorků odebraných před vlastním začátkem experimentu, kdy nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u genotypu PaG1 a PaG3 (Graf 1A, 1C). Oproti tomu, nižší hodnoty tohoto markeru byly pozorovány spíše u genotypů PaG4 a PaG6 (Graf 1D, 1F). Rozdíly v množství MDA mezi

odrůdami byly pozorovány u třešně ptačí například i v případě 'Kordia' a 'Regina', které byly pěstovány v sadě /8/.



Graf 1. Obsah malondialdehydu (nmol/g FW) v listech *P. avium*. A-F – sledované genotypy. Bílé sloupce: plná zálivka; šrafované sloupce: redukováná zálivka v 2. a 4. odběru, plně obnovena v 3. a 5. odběru. Výsledky jsou průměrem tří hodnot $\pm$ směrodatná odchylka.

Jedním z faktorů, které se mohou podílet na odolnosti *P. avium* proti působícím stresovým faktorům, je typ použité podnože /9/. Listy třešní, které byly pěstovány na podnoži Gisela 5, obsahovaly v roce 2017 více hydroxyskořicových kyselin a dvou podskupin flavonoidů v porovnání s podnoží Weiroot 72. Vlivem sucha se pak koncentrace těchto látek, které se mohou podílet na antioxidační aktivitě, zvýšila nejen v listech, ale i v plodech. Vzhledem k tomu, že všechny sledované genotypy byly na stejné podnoži (Gisela 5), tak by se tento vliv však neměl v provedeném experimentu projevit. Přesto i u odrůd třešní pěstovaných na stejné podnoži lze pozorovat rozdíly v dalších parametrech jako je stomatální vodivost, míra asimilace oxidu uhličitého, či obsah pigmentů podílejících se na fotosyntéze. Kromě fyziologických procesů se pak mohou jednotlivé genotypy odlišovat i vnitřní strukturou listů či hustotou koruny /10/.

Obsah MDA v listech u podnoží jako takových může být rovněž za kontrolních podmínek relativně vyrovnaný či proměnlivý, ať ve smyslu nárůstu či poklesu jeho koncentrace během sledovaného časového intervalu /11, 12/. Podobný trend byl pozorován i v provedeném experimentu, kdy se u kontrolních variant množství MDA výrazně neměnilo pouze u PaG1 (Graf 1A) nebo do určité míry i u PaG5 (Graf 1E). U PaG2 (Graf 1B) bylo následně naopak zjištěno více MDA právě v listech třešní, které dostávaly plnou závlivku.

Z hlediska všech sledovaných genotypů se právě u PaG1 neobjevil výrazný nárůst obsahu malondialdehydu u varianty s omezeným přísunem vody. Určitý vzrůstající trend je možné z grafu 1A pozorovat, nicméně je patrný i pro kontrolu. V rámci tohoto genotypu byl zaznamenán pouze viditelný pokles koncentrace MDA ve 3. odběru u vzorků po rehydrataci, tento stav se však v 5. odběru nezopakoval.

Podobný trend byl pozorován i u PaG3 (Graf 1C), kde však MDA bylo v listech od 2. do 4. odběru o něco nižší v případě kontroly. U vzorků, kde bylo zavlažování sníženo byl zaznamenán pokles již ve druhém odběru na rozdíl od PaG1. V pátém odběru se obsah malondialdehydu v listech *P. avium* po rehydrataci nelišil od předchozího, ale vzhledem k nárůstu v kontrolní variantě byl oproti této nižší.

Jak bylo uvedeno výše, u PaG2 (Graf 1B) byl nárůst obsahu tohoto produktu degradace membrán pozorován spíše u kontrol, zatímco stromy s redukovanou/obnovenou závlivkou měly tento parametr spíše nižší v odběrech po začátku experimentu. Naopak u PaG4 (Graf 1D) došlo ke zvýšení MDA v listech ve 2. odběru u kontrolní i nižší závlivky. Ve 4. odběru již však bylo tohoto metabolitu více u rostlin s redukovaným přísunem vody, ale v posledním došlo po rehydrataci opět k jeho poklesu. Oproti tomu u vzorků, kde byla plná závlivka zachována, bylo naměřeno vyšší množství malondialdehydu v připravených extraktech.

U genotypů PaG5 a PaG6 (Graf 1E a 1F) se snížená závlivka projevila zvýšením obsahu MDA proti kontrole již v druhém odběru. Zatímco u PaG5 byly vyšší hodnoty malondialdehydu naměřeny ještě i po rehydrataci ve 3. odběru, ale následně už se od kontroly nelišily, u PaG6 byly po první rehydrataci nižší. V případě posledních dvou odběrů, nicméně u tohoto genotypu bylo MDA vyšší právě u třešní s redukovanou závlivkou.

Ve studiích, kde byl naměřen vyšší obsah MDA, byl zjištěn i nárůst H_2O_2 a aktivita antioxidantních enzymů /13/, nicméně ne u všech odrůd se vždy vyšší aktivita projevila i odpovídajícím snížením stresových markerů /14/. To může vysvětlovat i výsledky zjištěné v této práci, kdy byly rozdíly nejen mezi jednotlivými genotypy, ale i v rámci samotného experimentu mezi kontrolními variantami a třešněmi s redukovanou závlivkou. Přestože obsah MDA v listech byl sledován v intervalu pouze osmi týdnů, množství sekundárních metabolitů, stejně jako aktivita antioxidantních enzymů, které se podílejí na ochraně před stresem může být závislá na řadě dalších faktorů jako je fenologická fáze rostliny či naopak citlivost sledovaných genotypů na přebytek vody a hypoxii /8, 11/.

ZÁVĚR

Z naměřených dat je patrné, že sledované genotypy *P. avium* se od sebe lišily obsahem malondialdehydu jak v kontrolních vzorcích na začátku experimentu, tak i v reakci na snížení a obnovení plné závlivky. Přestože ve výběru šesti uvedených genotypů byly zástupci, z hlediska

tohoto parametru, jeví se jako odolní i citliví proti navozenému stresu, bude třeba toto měření doplnit o další biochemické i fyziologické analýzy.

LITERATURA

- /1/ Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H., Battaglia, M.L. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*, 10, 2019: 259.
- /2/ Qi, J., Song, C. P., Wang, B., Zhou, J., Kangasjärvi, J., Zhu, J. K., & Gong, Z. Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *Journal of integrative plant biology*, 60(9), 2018: 805-826.
- /3/ Morales, M., Munné-Bosch, S. Malondialdehyde: facts and artifacts. *Plant Physiology* 180(3), 2019: 1246-1250.
- /4/ Shomali, A., Das, S., Arif, N., Sarraf, M., Zahra, N., Yadav, V., Aliniaieifard, S., Chauhan, D.K., Hasanuzzaman, M. Diverse Physiological Roles of Flavonoids in Plant Environmental Stress Responses and Tolerance. *Plants*, 11, 2022: 3158.
- /5/ Jesus, F., Gonçalves, A.C., Alves, G., Silva, L.R. Health Benefits of *Prunus avium* Plant Parts: An Unexplored Source Rich in Phenolic Compounds. *Food Reviews International* 38, 2020: 118-146.
- /6/ Dziadek, K., Kopeć, A. & Tabaszewska, M. Potential of sweet cherry (*Prunus avium* L.) by-products: bioactive compounds and antioxidant activity of leaves and petioles. *European Food Research and Technology*, 245, 2019: 763–772.
- /7/ Du, Z., Bramlage, W.J. Modified Thiobarbituric Acid Assay for Measuring Lipid Oxidation in Sugar-Rich Plant Tissue Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1992: 1566–1570.
- /8/ Kubes, J., Hnilicka, F., Vachova, P., Kudrna, J., Tunklova, B., Mrkacek, M., Rygl, T. Changes in Secondary Metabolites Content and Antioxidant Enzymes Activity in Leaves of Two *Prunus avium* L. Genotypes During Various Phenological Phases. *Life*, 14, 2024: 1567.
- /9/ Vosnjak, M., Mrzlic, D., Hudina, M., Usenik, V. The Effect of Water Supply on Sweet Cherry Phytochemicals in Bud, Leaf and Fruit. *Plants*, 10, 2021: 1131.
- /10/ Gonçalves, B., Correia, C.M., Silva, A.P., Bacelar, E.A., Santos, A., Moutinho-Pereira, J.M. Leaf Structure and Function of Sweet Cherry Tree (*Prunus avium* L.) Cultivars with Open and Dense Canopies. *Scientia Horticulturae*, 116, 2008: 381–387.
- /11/ Jia, L., Qin, X., Lyu, D., Qin, S., & Zhang, P. ROS production and scavenging in three cherry rootstocks under short-term waterlogging conditions. *Scientia Horticulturae*, 257, 2019: 108647.
- /12/ Pimentel, P., Almada, R.D., Salvatierra, A., Toro, G., Arismendi, M.J., Pino, M.T., Sagredo, B., Pinto, M. Physiological and Morphological Responses of *Prunus* Species with Different Degree of Tolerance to Long-Term Root Hypoxia. *Scientia Horticulturae*, 180, 2014: 14–23.
- /13/ Sivritepe, N., Erturk, U., Yerlikaya, C., Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. Response of the Cherry Rootstock to Water Stress Induced In Vitro. *Biologia Plantarum*, 52, 2008: 573–576.
- /14/ McGee, T., Shahid, M. A., Beckman, T. G., Chaparro, J. X., Schaffer, B., & Sarkhosh, A. Physiological and biochemical characterization of six *Prunus* rootstocks in response to flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 183, 2021: 104368.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory grantu QK21010200 – Šlechtění ovocných druhů na odolnost k abiotickým vlivům v kombinaci s vysokým obsahem antioxidačních látek v plodech (2021-2025). Autoři by rovněž rádi poděkovali VŠÚO Holovousy, jmenovitě Ing Pavlu Suranovi, Ph.D., za poskytnutí rostlinného materiálu a informací ohledně pěstovaných rostlin.

OXIDAČNÝ STRES V LISTOCH SÓJE VO SVETLE ODRODOVÝCH A PLETIVOVÝCH ROZDIELOV PRI DVOCH DÁVKACH KADMIA

OXIDATIVE STRESS IN SOYBEAN LEAVES IN LIGHT OF VARIETAL AND TISSUE DIFFERENCES AT TWO DOSES OF CADMIUM

Silvia Kisléghyová, Karin Stránska, Roman Kuna, Peter Boleček, Patrik Mészáros

Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, FPVAI, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie mládeže 91, 949 74 Nitra, pmeszaros@ukf.sk

Summary

In this work, we monitored the influence of various variables on the level of oxidative stress in soybean leaves under cadmium stress. We evaluated the content of hydrogen peroxide, superoxide radical and malondialdehyde in two soybean varieties with different sensitivity to Cd, at different cadmium concentrations (10 and 100 mg.kg⁻¹ Cd²⁺), as well as in leaves at different developmental ages. Oxidative stress was confirmed mainly in the more sensitive variety Albenga, while the more tolerant variety Adesa demonstrated its more effective elimination. The content of the tested parameters was not linearly dependent on the applied cadmium concentration, but was dependent on the leaf stage. The tested indicators of the level of oxidative stress did not always give the same picture of the oxidative state of the analyzed tissues.

Keywords: Glycine max L., malondialdehyde, hydrogen peroxide, superoxide, heavy metals

Súhrn

V práci sme monitorovali vplyv rôznych premenných na mieru oxidačného stresu v listoch sóje fazuľovej pri strese kadmim. Obsah peroxidu vodíka, superoxidového radikálu ako aj malondialdehydu sme vyhodnotili v dvoch odrodách sóje fazuľovej s odlišnou citlivosťou na Cd, pri rôznych koncentráciách kadmia (10 a 100 mg.kg⁻¹ Cd²⁺), ako aj v listoch v odlišnom vývinovom veku. Oxidačný stres sme potvrdili najmä v citlivejšej odrode Albenga, zatiaľ čo tolerantnejšia odroda Adesa preukázala jeho účinnejšiu elimináciu. Obsah testovaných parametrov nebol lineárne závislý od aplikovanej koncentrácie kadmia, avšak bol závislý od listového štádia. Jednotlivé ukazovatele miery oxidačného stresu nedávali vždy rovnaký obraz o oxidačnom stave analyzovaných pletív.

Kľúčové slová: Glycine max L., malondialdehyd, peroxid vodíka, superoxid, ťažké kovy

ÚVOD

Kadmium (Cd) je ťažký kov známy pre svoju vysokú toxicitu pre živé organizmy. Expozícia rastlín kadmiumu môže narušiť rôzne fyziologické procesy, ako napr. príjem vody, absorpciu a transport živín, dýchanie a fotosyntézu, ďalej môže spôsobiť chlorózu či nekrózu pletív, vädnutie a bunkovú smrť [1]. Jedným z hlavných dôsledkov toxicity Cd je indukcia oxidačného stresu, ktorý je charakterizovaný nadmernou produkciou reaktívnych foriem

kyslíka (ROS). Mezi ROS patria například superoxidový radikál ($\bullet\text{O}_2^-$), hydroxylový radikál ($\bullet\text{OH}$) a peroxid vodíka (H_2O_2). Zatiaľ čo malé množstvá ROS hrajú dôležitú úlohu v signalizácii a obranných mechanizmoch rastlín, ich nadmerná akumulácia vedie k oxidačnému poškodeniu biomolekúl, ako sú lipidy, proteíny a nukleové kyseliny /2, 3, 4/.

Reakcia rastlín na kadmium je variabilná a závisí od druhu, odrody, veku rastliny, rastového štádia, ako aj od konkrétneho rastlinného orgánu. V tejto práci sme sa zamerali na identifikáciu odrodových a pletivových rozdielov v miere oxidačného stresu medzi dvomi odrodami sóje fazuľovej, ktoré vykazujú odlišnú citlivosť na stres z kadmia. Mieru oxidačného stresu sme vyhodnotili na základe obsahu vybraných ROS (peroxid vodíka, superoxidový radikál) ako aj na základe obsahu malondialdehydu (MDA), ktorý je bežným ukazovateľom miery peroxidácie membránových lipidov /3, 5/.

MATERIÁL A METÓDY

V práci sme analyzovali 4 odrody sóje fazuľovej – *Glycine max* L. Albenga, Adesa, ES Mentor, SY Livius (Saatbau Slovensko, s.r.o., Trnava). V prvej fáze výskumu sme stanovili mieru citlivosti uvedených odrôd voči kadmiu ($15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ aplikované vo forme $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a to na základe čerstvej hmotnosti koreňov. Semená sóje sme najprv sterilizovali 0,5 % chlórnanom sodným po dobu 20 min. Po opláchnutí v sterilnej destilovanej vode sme ich preniesli do plastových nádob na tri vrstvy filtračného papiera navlhčeného sterilnou destilovanou vodou a nechali vyklíčiť v tme, pri 23°C po dobu 48 hod. Klíčence sme následne preniesli do Petriho misiek na tri vrstvy filtračného papiera navlhčeného sterilnou destilovanou vodou (kontrolné vzorky) alebo roztokom kadmia (stresované vzorky) a inkubovali v tme, pri 23°C a po dobu 48 hod. Mieru citlivosti analyzovaných odrôd sóje voči kadmiu sme stanovili na základe poklesu čerstvej hmotnosti koreňov klíčencov v prítomnosti kovu v porovnaní s kontrolou.

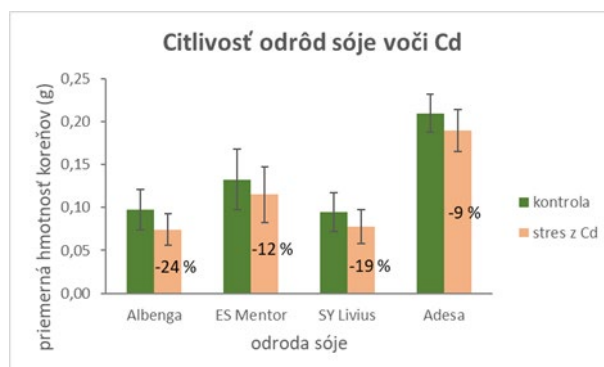
Dve odrody sóje, najtolerantnejšiu Adesu a najcitlivejšiu Albengu, sme vypestovali v nádobovom (5 l) pokuse v záhradníckom substráte Durpeta Profi mix 2A (1,5 kg). Rastliny sme pestovali v rastovej komore Fitotron HGC 1514 pri týchto mikroklimatických podmienkach: Deň – 12 hod, 18 000 lux, 24°C , vlhkosť 60 %; Noc – 12 hod, tma, 20°C , vlhkosť 50 %. Po 27 dňoch pestovania sme v prípade stresovaných rastlín aplikovali 10 a $100 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ vo forme $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. V 34. deň nádobového pokusu sme z rastlín odobrali najstarší trojpočetný list (L1), druhý najstarší trojpočetný list (L2) a najmladší trojpočetný list (L3), v ktorých sme analyzovali vybrané ukazovatele oxidačného stresu: obsah peroxidu vodíka, superoxidového radikálu a malondialdehydu.

Obsah peroxidu vodíka sme stanovili podľa /6/, obsah superoxidového radikálu podľa /7/ a obsah malondialdehydu (MDA) podľa /8/. Každý experiment bol uskutočnený v troch biologických opakovaniach. Výsledky sme vyhodnotili v programe MS Excel. Signifikantnosť rozdielov sme hodnotili t-testom a následne Tukey-testom na hladine významnosti $P < 0,05$.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Medzirododové rozdiely na úrovni oxidačného stresu sme chceli demonštrovať na dvoch odrodách sóje, ktoré prejavujú odlišnú citlivosť na toxicitu iónov kadmia. Citlivosť 4 odrôd sóje fazuľovej (*Glycine max* L. cv. Adesa, Albenga, SY Livius, ES Mentor) voči Cd sme

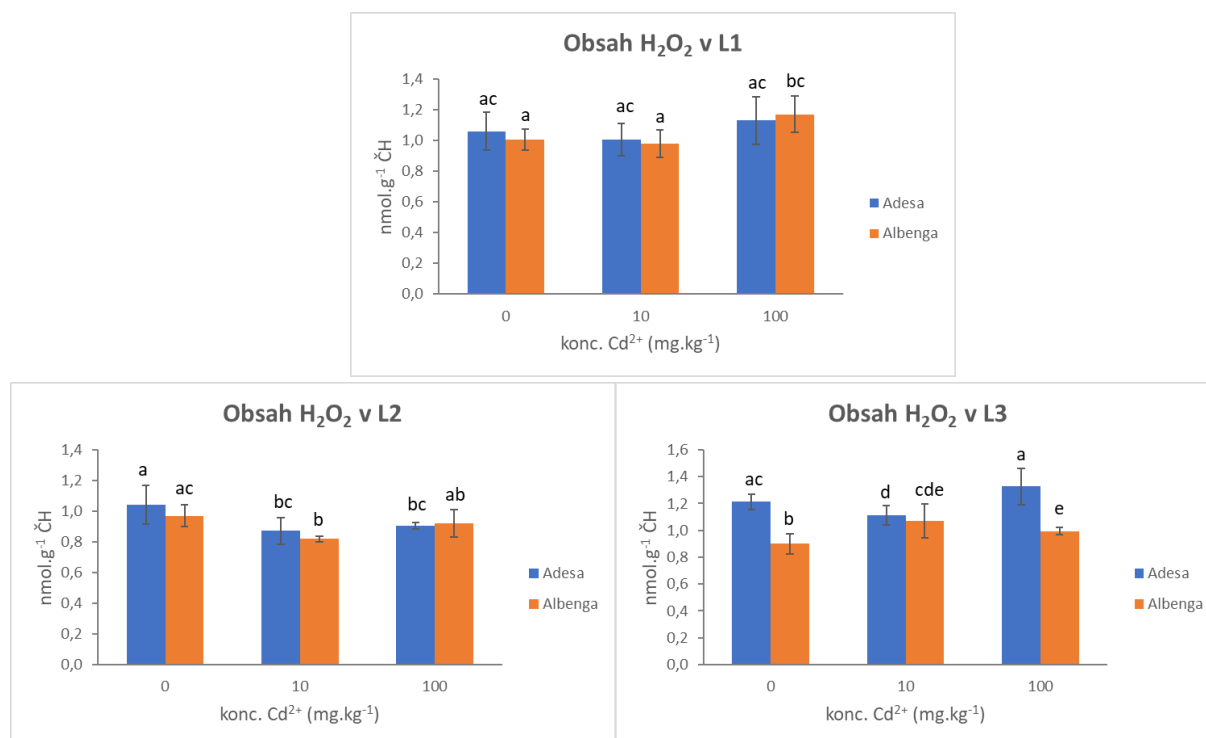
otestovali na základe rastu koreňov klíčencov v prítomnosti $15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$. Aplikovaná dávka kadmia bola zvolená na základe predbežných skríningov. Najviac citlivá na kadmium bola odroda Albenga, pri ktorej sa znížila hmotnosť koreňov v priemere o 24 %. Ako najtolerantnejšia sa prejavila odroda Adesa, s úbytkom hmotnosti koreňov iba 9 % (obr. 1). Tieto odrody boli vybrané pre ďalšie analýzy v rámci nádobových pokusov.



Obr. 1: Citlivosť testovaných odrôd sóje fazuľovej voči $15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ vyjadrená na základe poklesu priemernej čerstvej hmotnosti koreňov klíčencov. Údaje znázorňujú priemer z 30 až 50 koreňov $\pm$ štandardnú odchýlku. Všetky zmeny, vyjadrené v percentách oproti príslušnej kontrole, sú štatisticky významné pri $P < 0,05$.

Obsah peroxidu vodíka, superoxidového radikálu ako aj malondialdehydu sme vyhodnotili vo svetle troch premenných – pri rôznych koncentráciách Cd, vo vývinovo odlišne starých listoch a v dvoch odrodách sóje fazuľovej s odlišnou citlivosťou na Cd.

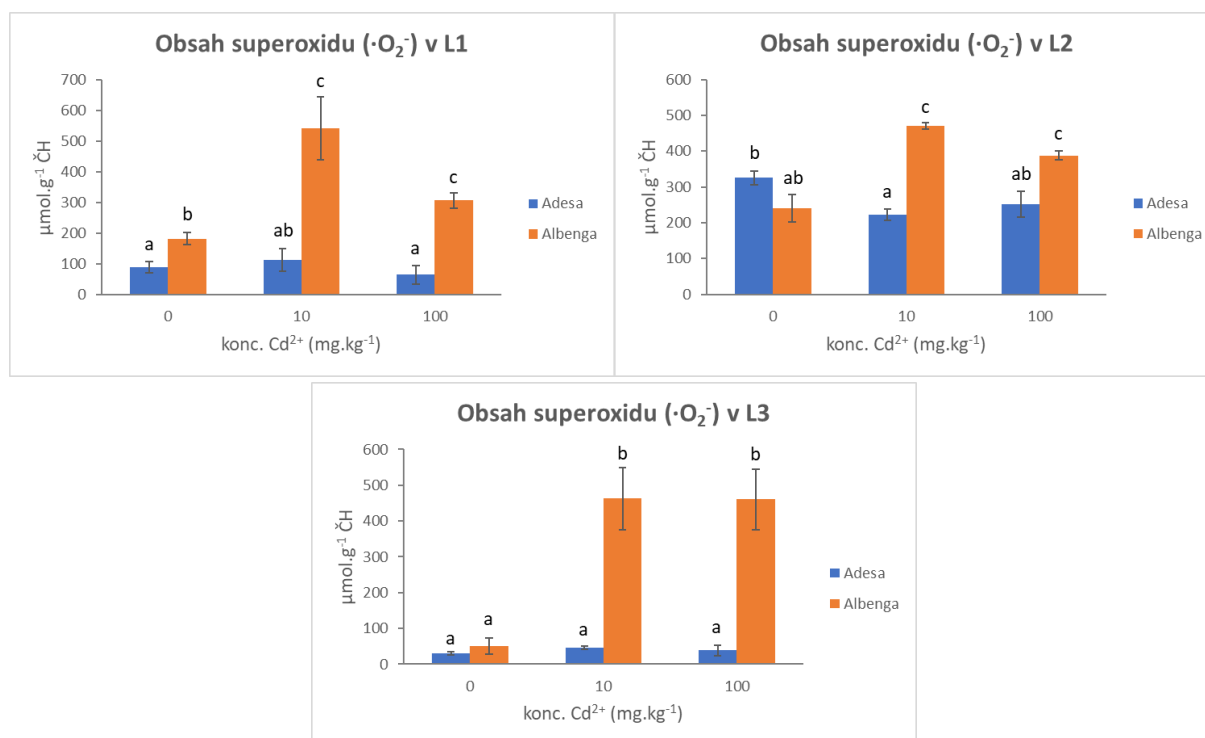
Obsah peroxidu vodíka sa v najstaršom liste L1 významne zvýšil v citlivejšej odrode Albenga pri vyššej koncentrácii Cd (obr. 2). Naopak, v druhom najstaršom liste L2 sme pozorovali zníženú akumuláciu H_2O_2 pri nižšej koncentrácii Cd v oboch odrodách a pri vyššej koncentrácii Cd v tolerantnejšej odrode Adesa (obr. 2). V najmladšom listovom štádiu L3 bol trend akumulácie tejto molekuly výrazne ovplyvnený citlivosťou odrody ako aj aplikovanou dávkou Cd. Kým v citlivejšej odrode Albenga došlo k preukaznej akumulácii peroxidu vodíka pri oboch koncentráciách Cd, v tolerantnejšej Adese, naopak, k jeho potlačeniu nižšou dávkou Cd (obr. 2). Na základe týchto výsledkov teda vieme skonštatovať, že oxidačný stres bol vyvolaný iba v citlivejšej odrode Albenga a tolerantnejšia odroda Adesa má zrejme účinnejší antioxidačný systém na elimináciu peroxidu vodíka. Zistené rozdiely spočívajú zrejme aj v tom, že bazálna hladina peroxidu vodíka bola v testovaných odrodách významne odlišná. Pomerne vysoká hladina tejto molekuly v nestresovej situácii v tolerantnejšej Adese môže garantovať lepšiu pripravenosť rastliny a účinnejší antioxidačný systém pri záťaži kadmim. Zároveň však platí, že obsah peroxidu vodíka nebol lineárne závislý od koncentrácie Cd.



Obr. 2: Obsah peroxidu vodíka v troch listových štádiách (L1, L2, L3) tolerantnejšej (Adesa) a citlivejšej (Albenga) odrody sóje fazuľovej vystavených rôznym dávkam kadmia. Údaje znázorňujú priemer z troch biologických opakovaní $\pm$ štandardnú odchýlku. Rozdielne písmená označujú štatisticky významné rozdiely ($P < 0,05$) medzi vzorkami.

Stanovenie obsahu superoxidového radikálu odhalilo výrazné medziodrodové rozdiely v akumulácii tejto molekuly pri reakcii sóje na kadmium. Vo všetkých listových štádiách citlivejšej odrody Albenga došlo k preukaznému zvýšeniu obsahu superoxidového radikálu. Na druhej strane, v tolerantnejšej odrode Adesa sme nezaznamenali žiadnu významnú zmenu až na jednu výnimku v L2, kde došlo dokonca k poklesu obsahu $\cdot\text{O}_2^-$ (obr. 3). Na základe tohto ukazovateľa je teda možné potvrdiť prítomnosť oxidačného stresu v odrode Albenga vplyvom Cd, a zároveň efektívne potlačenie oxidačného stresu v odrode Adesa. Obsah $\cdot\text{O}_2^-$ nebol lineárne závislý od koncentrácie kadmia a neidentifikovali sme výrazné odlišnosti ani v reakcii jednotlivých listových štádií na kadmium.

Stanovenie obsahu malondialdehydu (MDA) umožňuje nepriamo kvantifikovať mieru peroxidácie lipidov v pletivách. Výsledky tejto práce odhalili, že v najstarších listoch L1 dochádza k poklesu obsahu MDA v tolerantnej odrode Adesa, a to pri oboch aplikovaných dávkach Cd, zatiaľ čo v citlivejšej Albenge sme nezaznamenali žiadne významné zmeny. Zároveň však platí, že bazálna hladina MDA bola mierne vyššia v odrode Adesa (obr. 4). V druhých najstarších listoch L2 sme nezaznamenali žiadnu reakciu na Cd, zistili sme však výrazné rozdiely v bazálnej hladine MDA medzi odrodami. V odrode Adesa sa akumuluje MDA podstatne intenzívnejšie (obr. 4). Na základe tohto ukazovateľa teda nebol prítomný v listoch L1 a L2 oxidačný stres, alebo bol dokonca potlačený v tolerantnej Adese. Opačný trend sa ukázal v najmladších listoch L3, kde došlo vplyvom Cd k akumulácii MDA.

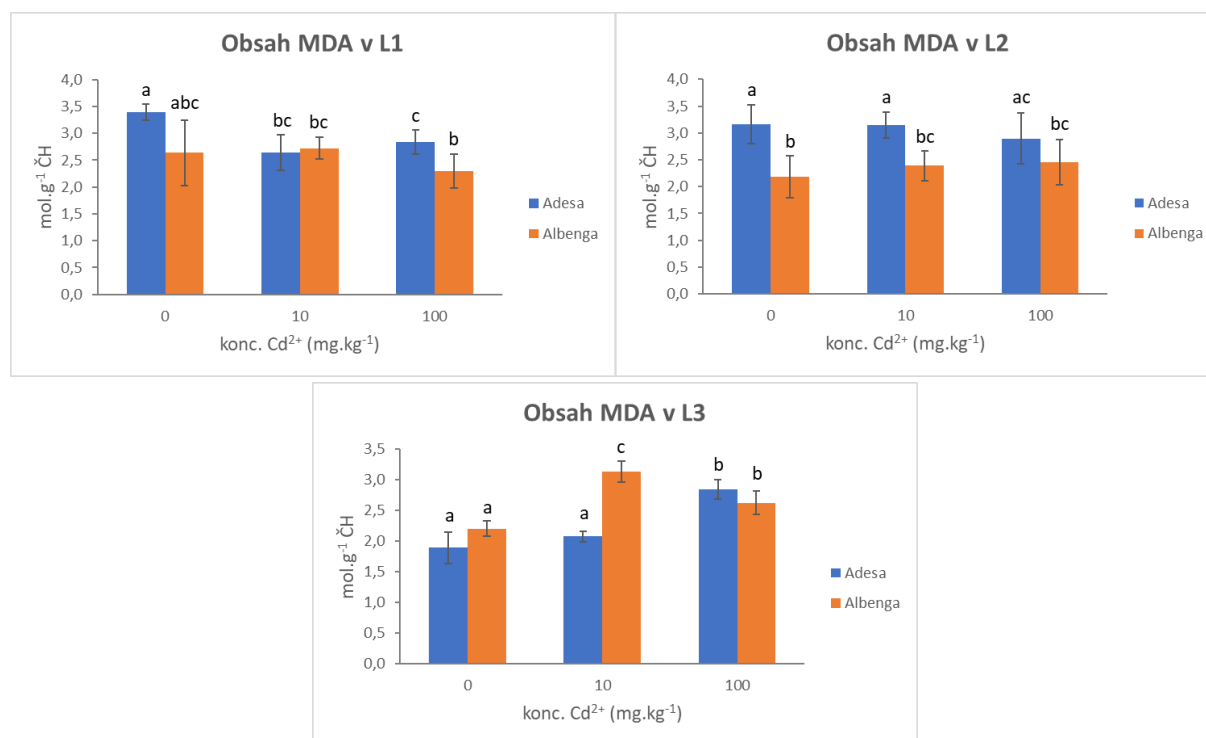


Obr. 3: Obsah superoxidového radikálu v troch listových štádiách (L1, L2, L3) tolerantnejšej (Adesa) a citlivejšej (Albenga) odrody sóje fazuľovej vystavených rôznym dávkam kadmia. Údaje znázorňujú priemer z troch biologických opakovaní $\pm$ štandardnú odchýlku. Rozdielne písmená označujú štatisticky významné rozdiely ($P < 0,05$) medzi vzorkami.

Opäť sa však prejavili medziodrodové rozdiely, keďže v tolerantnej Adese došlo k významnému zvýšeniu MDA iba pri vyššej dávke Cd, zatiaľ čo v citlivejšej Albenge pri oboch dávkach Cd. Nižšia koncentrácia Cd mala dokonca silnejší vplyv na produkciu MDA (obr. 4). Vo všeobecnosti teda platí, že zmeny v hladinách MDA neboli lineárne závislé od koncentrácie Cd.

Testované ukazovatele slúžili na posúdenie prítomnosti oxidačného stresu v pletivách analyzovaných rastlín. Oxidačný stres je v bunkách rastlín prítomný do istej miery takmer vždy, pretože reaktívne formy kyslíka sa produkujú aj pri bežnom metabolizme rastlín /4/. Vystavenie rastlín toxickým účinkom Cd však vedie často k zvýšenej produkcii ROS, čo má za následok oxidatívne poškodenie rastlinných biomolekúl, štruktúr a pletív /9/. Miera poškodenia rastlinných pletív môže závisieť od viacerých faktorov, vrátane genotypu rastlín, miery stresu a dĺžky expozície kadmii /10, 11/. Bolo tiež poukázané na to, že výraznejšia produkcia ROS prebieha v rastlinách v časových vlnách /10/.

Získané údaje odhalili, že parametre na posúdenie oxidačného stresu navzájom nie vždy korešpondujú. V určitých prípadoch došlo k súhlasu, kde nárast obsahu H_2O_2 sprevádzal aj nárast $\cdot\text{O}_2^-$ či MDA (napr. v odrode Albenga, v L3, pri oboch dávkach Cd), čo jednoznačne poukazuje na prebiehajúci oxidačný stres. Na druhej strane, v iných vzorkách boli sledované trendy značne variabilné a neriadili sa podľa jednoznačného pravidla. Reakcia rastlín na stres je komplexná, preto je pri vyhodnocovaní výsledkov dôležité, aby sa zohľadnilo čo najviac faktorov vrátane odrodovej rozmanitosti, pletivovej špecificity, miery stresu, fyziologického stavu rastlín a pod.



Obr. 4: Obsah malondialdehydu (MDA) v troch listových štádiách (L1, L2, L3) tolerantnejšej (Adesa) a citlivejšej (Albenga) odrody sóje fazuľovej vystavených rôznym dávkam kadmia. Údaje znázorňujú priemer z troch biologických opakovaní $\pm$ štandardnú odchýlku. Rozdielne písmená označujú štatisticky významné rozdiely ($P < 0,05$) medzi vzorkami.

ZÁVER

Výsledky odhalili výrazné rozdiely v citlivosti na kadmium medzi jednotlivými odrodami sóje. Na základe vybraných ukazovateľov sme dospeli k záveru, že Cd môže spôsobiť oxidačný stres v sóji tak pri nižšej (10 mg.kg⁻¹) ako aj pri vyššej dávke (100 mg.kg⁻¹), jeho miera však nie je lineárne závislá od koncentrácie kovu. Naopak, je značne závislá od odrody aj vývinového veku listov. Odroda Adesa preukázala vyššiu odolnosť voči kadmiu v porovnaní s odrodou Albenga, čo je pravdepodobne dôsledkom účinnejšieho antioxidačného systému tejto odrody. Jednotlivé ukazovatele miery oxidačného stresu nedávali vždy rovnaký obraz o oxidačnom statuse v pletivách rastlín, preto je pri takomto zhodnotení dôležité zakomponovať čo najviac parametrov.

LITERATÚRA

- /1/ Zulfiqar, U., Jiang, W., Xiukang, W., Hussain, S., Ahmad, M., Maqsood, M.F., Ali, N., Ishfaq, M., Kaleem, M., Haider, F.U., Farooq, N., Naveed, M., Kucerik, J., Brtnicky, M., Mustafa, A.: Cadmium Phytotoxicity, Tolerance, and Advanced Remediation Approaches in Agricultural Soils; A Comprehensive Review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 2022, <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815>
- /2/ Chmielowska-Bąk, J., Izbiańska, K., Ekner-Grzyb, A., Bayar, M., Deckert, J.: Cadmium Stress Leads to Rapid Increase in RNA Oxidative Modifications in Soybean Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2018, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02219>
- /3/ Hussain, S., Irfan, M., Sattar, A., Hussain, S., Ullah, S., Abbas, T., Ur-Rehman, H., Nawaz, F., Al-Hashimi, A., Elshikh, M.S.: Alleviation of Cadmium Stress in Wheat through the Combined Application of Boron and Biochar via Regulating Morpho-Physiological and Antioxidant Defense Mechanisms. *Agronomy*, 12, 2022: 434, <https://doi.org/10.3390/agronomy12020434>
- /4/ Rao, M.J., Duan, M., Zhou, C., Jiao, J., Cheng, P., Yang, L., Wei, W., Shen, Q., Ji, P., Yang, Y., Conteh, O., Yan, D., Yuan, H., Rauf, A., Ai, J., Zheng, B.: Antioxidant Defense System in Plants: Reactive Oxygen

- Species Production, Signaling, and Scavenging During Abiotic Stress-Induced Oxidative Damage. *Horticulturae*, 11, 2025: 477, <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050477>
- /5/ Havaux, M.: Review of Lipid Biomarkers and Signals of Photooxidative Stress in Plants. *Methods in Molecular Biology*. 2642, 2023: 111-128, doi: 10.1007/978-1-0716-3044-0_6
- /6/ Singh, H.P., Batish, D.R., Kohli, R.K., Arora, K.: Arsenic induced root growth inhibition in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is due to oxidative stress resulting from enhanced lipid peroxidation, *Plant Growth Regulation*, 53, 2007: 65-73
- /7/ Jiang, M.Y., Zhang, J.H.: Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. *Plant and Cell Physiology*. 42, 2001: 1265–1273, <https://doi.org/10.1093/pcp/pce162>
- /8/ Karabal, E., Yücel, M., Öktem, H.A.: Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science*, 164, 2003: 925-933
- /9/ Hsu, Y.T., Kao, C.H.: Toxicity in leaves of rice exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. *Plant and Soil* 298, 2007: 231–241
- /10/ Pérez-Chaca, M.V., Rodríguez-Serrano, M., Molina, A.S., Pedranzani, H.E., Zirulnik, F., Sandalio, L.M., Romero-Puertas, M.C.: Cadmium oxidative stress in *Glycine max* (L.). *Plant, Cell and Environment*, 37, 2014: 1672-1687. <https://doi.org/10.1111/pce.12280>
- /11/ Gupta, D., PENA, L.B., Romero-Puertas, M. C., Hernández, A., Inoue, M., Sandalio, L.M.: NADPH oxidases differentially regulate ROS metabolism and nutrient uptake under cadmium toxicity. *Plant, Cell and Environment*. 40, 2017: 509–526

PodĎakovanie

Práca vznikla za finančnej podpory grantu VEGA 1/0215/25.

AKUMULÁCIA As, Ni A Sb V LISTOCH BAZY ČIERNEJ (*SAMBUCUS NIGRA* L.) NA LOKALITÁCH ZAŤAŽENÝCH STAROU BANSKOU ČINNOSŤOU V MALÝCH KARPATOCH

ACCUMULATION OF AS, NI AND SB IN THE LEAVES OF BLACK ELDER (*SAMBUCUS NIGRA* L.) IN LOCATIONS AFFECTED BY OLD MINING ACTIVITIES IN MALÉ KARPATY MTS. (SLOVAKIA)

Marianna Molnárová, Jana Ružičková, Blanka Lehotská, Agáta Fargašová

Katedra environmentálnej ekológie a manažmentu krajiny, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina B2, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovenská republika; marianna.molnarova@uniba.sk, jana.ruzickova@uniba.sk, blanka.lehotska@uniba.sk, agata.fargasova@uniba.sk

Summary

Malé Karpaty Mts. region was once known for the intensive mining of antimony and lead, both of which are found in high concentrations in the subsoil. Our research focused on sites near Pezinok and Pernek on the Blatina, Malina, Gidra, Stoličný and Trniansky streams, as well as on collecting *Sambucus nigra* leaves. We analysed these leaves for their content of As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, Se and Zn. Despite their presence in the soil, our results showed that (semi)metals Cd, Ni, Sb, and Zn did not accumulate in the leaves at any of the studied locations. However, in the upper reaches of the Gidra stream, we measured 3.237 mg of Cu/kg of dry weight, corresponding to a bioaccumulation factor (BAF) of 15.50. In the upper reaches of the Trniansky, Gidra and Malina streams, we confirmed an increased concentration of As in tree leaves, even though As was present in the soil at all sites. The highest accumulation of elements in *S. nigra* leaves was observed in the order Se>Pb> Fe.

Key words: heavy (semi)metals, old mines near Pezinok, accumulation, leaves

Súhrn

Oblasť Malých Karpát bola v minulosti známa intenzívnou ťažbou antimónu a olova, ktoré sa v geologickom podloží nachádzajú vo zvýšenej miere. V našom výskume sme sa zamerali na lokality pri Pezinku a Perneku, na toky potokov Blatina, Malina, Gidra, Stoličný a Trniansky potok a na zber listov *Sambucus nigra*, v ktorých sme stanovovali As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, Se, a Zn. Z našich výsledkov vyplynulo, že do listov sa (polo)kovy ako Cd, Ni, Sb a Zn neakumulovali na žiadnej študovanej lokalite, aj napriek ich výskytu v pôde. Avšak v prípade horného toku Gidry sme namerali 3,237 mg Cu/kg sušiny, čo znamenalo hodnotu bioakumulačného faktoru (BAF) 15,50. V prípade horného toku Trnianskeho, potoka, Gidry a Maliny sme potvrdili zvýšenú koncentráciu As v listoch stromov, i keď v pôde sa As nachádzal vo všetkých lokalitách. Najvyššia akumulácia prvkov v listoch *S. nigra* bola pozorovaná v prípade Se>Pb>Fe.

Kľúčové slová: ťažké (polo)kovy, staré bane pri Pezinku, akumulácia, listy

ÚVOD

Okolie Pezinka a Perneka v Malých Karpatoch je známe zvýšeným výskytom prvkov ako As, Cd, Sb a Pb, ktoré sa prirodzene nachádzajú v geologickom podloží, pôde aj sedimentoch /1/. Ešte v minulom storočí sa na týchto lokalitách intenzívne ťažil antimón (napr. známa je štôlna Sirková na Kolárskom Vrchu), ale v súčasnosti sú mnohé banské diela už zatvorené /2-4/. Stále však predstavujú environmentálne riziko pre biotu, pričom je známe významné znečistenie As a Sb niekoľko kilometrov pozdĺž potoka Blatina, ktorý tečie v okolí Pezinka /5,6/. Niektoré výsledky z nášho rozsiahleho výskumu zameraného na obsah ťažkých (polo)kovov v rastlinách boli prezentované na tejto konferencii v minulosti /7-9/, ako aj publikované v časopise /6/.

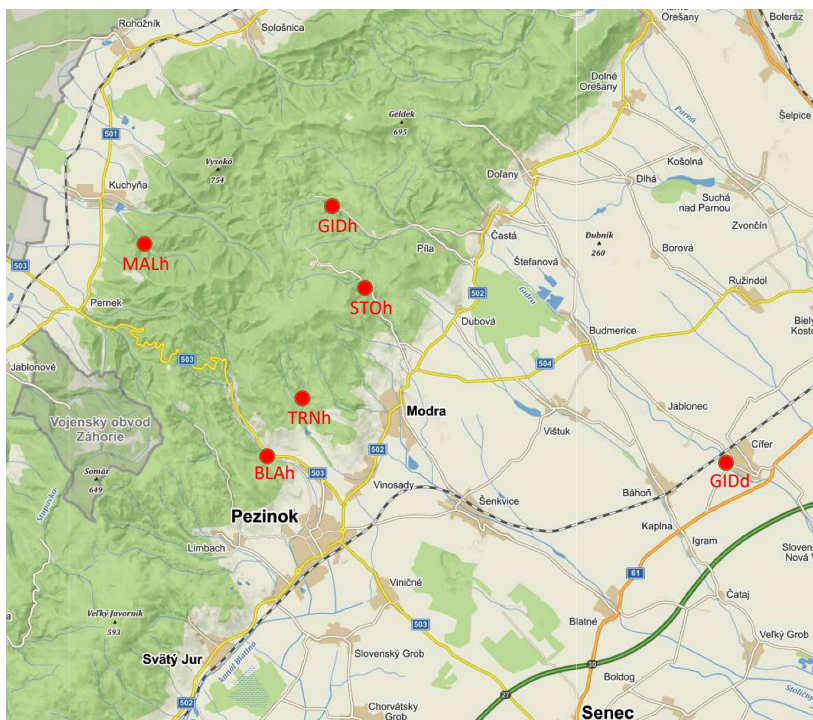
Vybrali sme si lokality, ktoré sa nachádzajú priamo v Malých Karpatoch pri Perneku na potoku Malina (horný tok potoka Malina, označený ako MALh), pri Pezinku na potoku Blatina (BLAh), horný tok Stoličného potoka (STOh), rieky Gidry (GIDh) ako aj odberové miesto na dolnom toku Gidry (GIDd). Zamerali sme sa na stanovenie (polo)kovov v listoch bazy čiernej z týchto lokalít s cieľom zistiť, či na územiach s vysokou koncentráciou kovov po bývalej ťažbe dochádza k akumulácii týchto prvkov v listoch rýchlorastúcich stromov, ktoré sme odoberali uprostred vegetačného obdobia (koniec júla 2013). V tradičnej medicíne sa zbierajú a využívajú listy, kvety a plody bazy čiernej (*S. nigra*), kvety sa sušia na čaj a bežne sa z bazových kvetov alebo z plodov vyrábajú aj nápoje, sirupy a džemy. Topolska et al. sledovali akumuláciu kovov v kvetoch v urbánnom prostredí so zvýšenou frekvenciou dopravy a zistili, že v kvetoch sa nachádzali prvky ako Cr, Mn, Fe, Cu a Zn /10/. Mnohé kovy sa sledovali v listoch *S. nigra*, ale podľa nášho vedomia iba na lokalitách, ktoré nie sú známe banskou činnosťou /11, 12/. Preto sme sa zamerali na to, či na lokalite s potvrdeným vysokým výskytom As a Sb zistíme akumuláciu iných potenciálne toxických prvkov alebo zníženie koncentrácie esenciálnych kovov, za ktoré sa považujú Cu, Ni a Zn v prípade rastlín.

MATERIÁL A METODA

Spomínané lokality sa nachádzajú na východnej ako aj západnej strane Malých Karpát a sú znázornené na nasledovnej mape (obr. 1).

Kým Blatina, Malina a Gidra sú samostatné potoky, Trniansky potok sa neskôr vlieva za obcou Vinosady do Stoličného potoka. V dňoch 25., 30. a 31.7.2013 sa odoberali vzorky pôd do hĺbky 20 cm a listy bazy čiernej (*Sambucus nigra* L.).

Po zbere boli rastliny prenesené v chlade do laboratória, umyté vo vodovodnej a destilovanej vode a usušené v sušiarňi pri 55 °C. Na každú analýzu boli použité aspoň 4 listy z danej lokality. Minimálne 11 mg sušiny sa nechalo mineralizovať cez noc v 5 ml koncentrovanej $\text{HNO}_3\text{:H}_2\text{O}_2$ (4:1) pri laboratórnej teplote. Na ďalší deň sa vzorka mineralizovala pri 180 °C 1 hod v autoklávoch ZA-1 (ČR) /6/. Po ochladení sa zmes doplnila na 25 ml destilovanou vodou a obsah kovov sa elektrochemicky stanovil na prístroji EcaFlow 150 GLP (Istran, SR). Získané hodnoty sú prepočítané na g sušiny. Táto metóda je porovnateľná s metódou AAS /13/. Bioakumulačný faktor (BAF) sa vypočítal ako: $\text{BAF} = (\text{koncentrácia (polo)kovu v listoch}) / (\text{koncentrácia (polo)kovu v pôde})$. Štandardné roztoky a elektrolyty pochádzali z firmy Istran (SR), ostatné chemikálie s analytickou čistotou (p.a.) z firmy centralCHEM (SR) – HCl a z ITESu Vranov, s.r.o. (SR) – HNO_3 a H_2O_2 .



Obr. 1: Mapa odberových miest v Malých Karpatoch. Legenda: BLAh – potok Blatina nad Pezinokom, TRNh – horný tok Trnianskeho potoka v Kučisďorskej doline blízko Pezinka, STOh – horný tok Stoličného potoka pri Modre-Harmónii, GIDh – horný tok Gidry pri Pile, GIDd – dolný tok Gidry pri Číferi, MALh – horný tok Maliny pri Kuchyni.

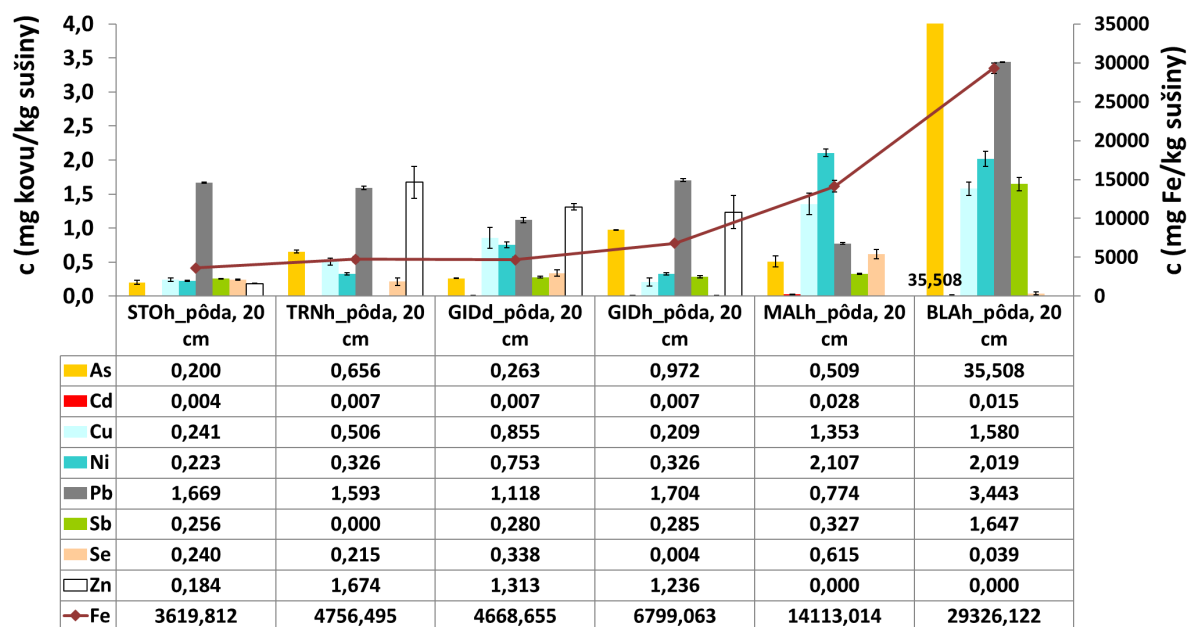
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na nasledujúcich obrázkoch sú znázornené namerané koncentrácie študovaných prvkov v pôde (obr. 2), v listoch *S. nigra* (obr. 3) a bioakumulačný faktor BAF pre prvky v listoch *S. nigra*, ktorý je na obr. 4. Najvyššiu koncentráciu v pôdach (obr. 2) sme zistili v prípade Fe, pričom najnižšia bola 3619,8 mg Fe/kg sušiny na hornom toku Stoličného potoka.

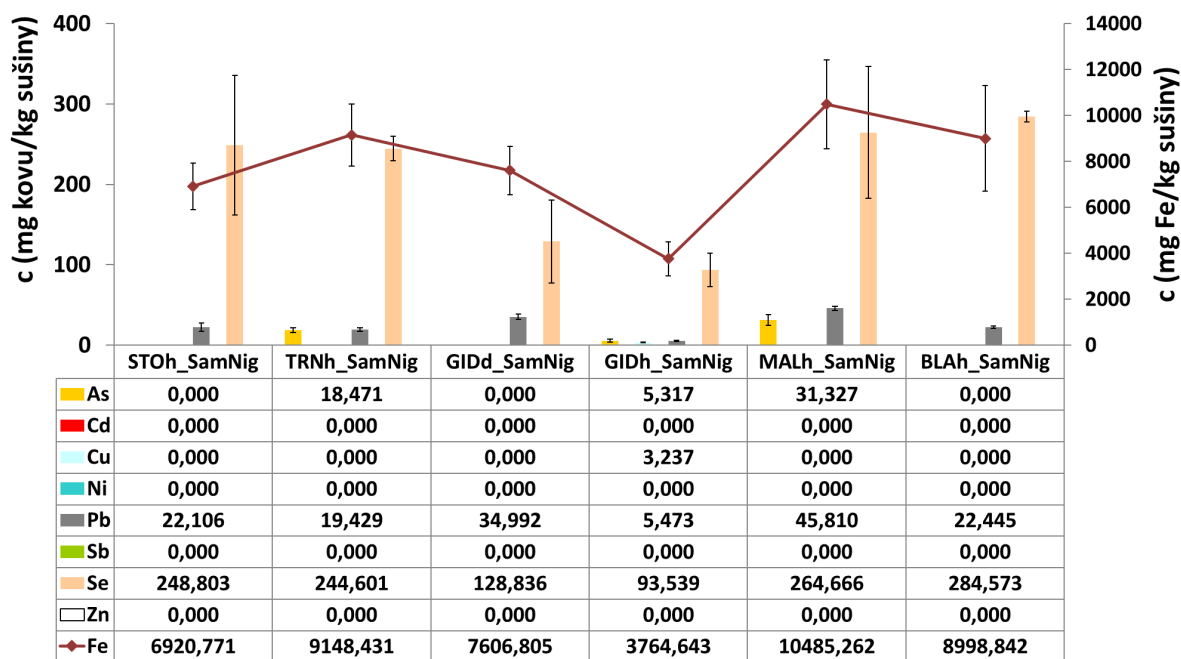
Ostatné prvky neprekročili hodnotu 2 mg (polo)kovu/kg sušiny v žiadnej vzorke, okrem As pri Blatine, kde bola nameraná hodnota 35,508 mg As/kg sušiny pôdy (BLAh lokalita). Práve táto lokalita je najbližšie k Pezinku a bývalých baní na antimón a považujeme ju za najviac kontaminovanú Sb, čo sa aj potvrdilo a tento prvok sa v pôde nachádzal v zostupnom poradí na daných lokalitách ako BLAh>>MALh>GIDh=GIDd>STOh a na lokalite TRNh sme ho nedetekovali našou elektrochemickou metódou (obr. 2). Spolu s Sb sa často nachádza aj As, ktorého výskyt sa na jednotlivých lokalitách potvrdil v mierne pozmenenom zostupnom poradí, ako pre Sb: BLAh>>GIDh>TRNh>MALh>GIDd>STOh ako je vidieť z grafu na obr. 2. Rovnako ako zostupné poradie výskytu Sb, sa vyskytovalo na týchto lokalitách aj olovo.

Hoci sa v pôdach potvrdila prítomnosť Cd, Ni, Sb a Zn (obr. 2), ich prítomnosť nebola zaznamenaná v listoch *S. nigra* (obr. 3) a preto sa nedal ani vypočítať bioakumulačný faktor BAF na obr. 4. V listoch sme potvrdili relatívne vysokú koncentráciu As na hornom toku Trnianskeho potoka, Gidry a Maliny (obr. 3). Iba na hornom toku Gidry sme namerali prítomnosť Cu v listoch *S. nigra*, a hodnota BAF na tejto lokalite pre Cu bola vypočítaná ako 15,50 (obr. 3, 4). I keď je Cu považovaná za esenciálny prvok, na horných tokoch sledovaných potokov sme ho nepotvrdili v listoch tejto dreviny a ani sme nenamerali v nich ďalšie esenciálne kovy ako je Zn, či Ni, ktorý sa považuje tiež za esenciálny pre rastliny v nižších

koncentraciách v období rastu a vývinu, pretože je súčasťou ureázového a hydrogenázového metabolismu /14,15/. Veľmi nízke koncentrácie Ni a Zn (<0,1 mg/l) namerali v listoch *S. nigra* aj iní autori /11/. Podobne ani ďalší dvojmocný kation kovu, konkrétne Cd, sa nezistil v listoch *S. nigra*, aj keď tento kov bol prítomný v nízkych koncentraciách v pôde (obr. 2, 3), čo by mohlo poukazovať na to, že *S. nigra* neakumuluje Cd v listoch na pôdach kontaminovaných As, Sb alebo Pb.



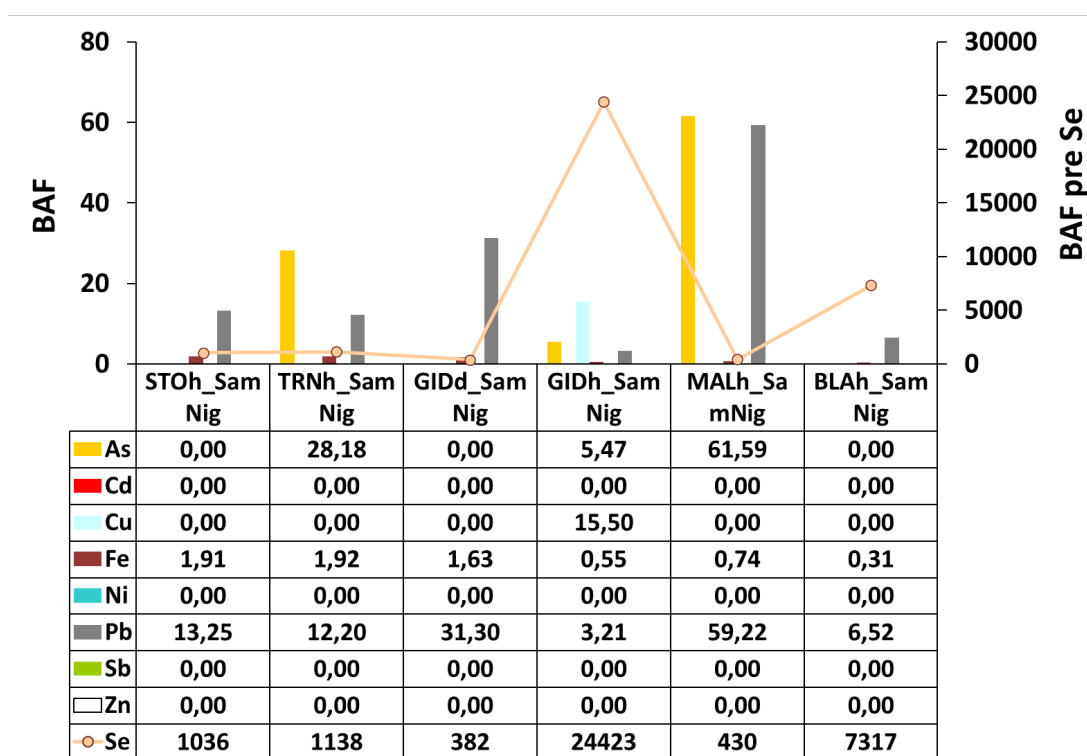
Obr. 2: Koncentrácia študovaných (polo)kovov v pôde na jednotlivých lokalitách (n=3).
Legenda: lokality ako na obr. 1.



Obr. 3: Koncentrácia študovaných (polo)kovov v listoch *S. nigra* (SamNig) na jednotlivých lokalitách (n=3). Legenda: lokality ako na obr. 1.

Topolska et al. /10/ namerali v kvetoch *S. nigra* najvyššiu koncentráciu Fe 0,335 mg/g sušiny, kým nami namerané hodnoty sa rádovo pohybovali v niekoľko násobne vyšších koncentráciách v listoch (obr. 3), čo môže byť spôsobené aj samotnou vysokou koncentráciou v pôde (obr. 2) a preto BAF hodnoty sa pohybovali iba okolo hodnoty 1. Tieto údaje poukazujú na to, že listy bazy čiernej pravdepodobne nie sú vhodné ako hyperakumulátor tohto kovu v nich. Definícia vhodnej rastliny ako hyperakumulátora je, že dokáže vo svojich výhonkoch v oveľa vyššej miere akumulovať daný kov, ako v koreňoch. Zároveň sa táto akumulácia líši v závislosti od jednotlivých kovov. Kým pre Hg je BAF hodnota > 10 mg/kg sušiny, pri Cd je > 100 mg/kg sušiny, pri As, Co, Cu, Ni, Pb a Se je to > 1000 mg/kg sušiny, a pri Mn a Zn > 10 000 mg/kg sušiny výhonkov /16-21/.

Qazimi et al. zbierali listy *S. nigra* z viacerých lokalít Kosova a najnižšia zistená koncentrácia Fe bola 111 mg/kg sušiny listov a najvyššia 205 mg/kg /12/. V ich vzorkách potvrdili aj prítomnosť Al, Cd, Cr, Cu, Hg, Mg, Mn, Ni a Zn, kým koncentrácie As boli v priemer 0,08 mg As/kg sušiny listov. To môže poukazovať aj na vzájomné interakčné účinky (polo)kovov, ktoré v prípade vysokých koncentrácií As, Pb a Sb v pôde môže znížiť príjem esenciálnych prvkov ako Cu, Ni a Zn, ako sme to pozorovali na našich vzorkách (obr. 2, 3).



Obr. 4: Bioakumulačný faktor (BAF) v listoch *S. nigra* (SamNig). Legenda: lokality ako na obr. 1.

ZÁVER

Z našich meraní vyplýva, že *S. nigra* by mohla byť využívaná na dekontamináciu pôd s vysokým výskytom As a Pb, pretože ich hodnota BAF bola minimálne 6-násobne vyššia ako 1. Zároveň sa zdá, že listy sú dobrým akumulátorom aj pre Se, ktorý bol v pôde zistený v koncentráciách nižších ako 0,7 mg Se/kg sušiny pôdy, aj keď podľa definície

hyperakumulátora tieto hodnoty nedosahujú dolné limity pre As, Pb a Se. Avšak ak by sa mali listy tejto dreviny, rastúcej na kontaminovaných lokalitách arzénom alebo olovom, používať v tradičnej medicíne alebo na konzumáciu, neodporúčame to pre možný akumulčný a toxický účinok arzénu a olova pre človeka.

LITERATÚRA

- /1/ Veselský, J., Forgáč, J., Mejeed, S.Y.: Kontaminácia pôdy a aktívnych riečnych sedimentov Malých Karpát (oblast Pezinok – Pernek). *Mineralia Slovaca*, 28, 1996: 209 – 218.
- /2/ Cambel, B.: Hydrotermálne ložiská v Malých Karpatoch, mineralógia a geochemia rúd. *Acta Geologica et Geographica Universitatis Comenianae: Geologica*, 3, 1959: 1 – 348.
- /3/ Fláková, R., Ženišová, Z., Sracek, O., Krčmár, O., Ondřejková, I., Chovan, M., Lalinská-Voleková, B., Fendeková, M.: The behavior of arsenic and antimony at Pezinok mining site, southwestern part of the Slovak Republic. *Environmental Earth Sciences*, 66, 2012: 1043 – 1057.
- /4/ Majzlan, J., Lalinská, B., Chovan, M., Jurkovič, L., Milovská, S., Göttlicher, J.: The formation, structure, and ageing of As-rich hydrous ferric oxide at the abandoned Sb deposit Pezinok (Slovakia). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 2007: 4206 – 4220.
- /5/ Bowen, H.J.M.: *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press: London, UK, 1979, 348 s.
- /6/ Molnárová, M., Ružičková, J., Lehotská, B., Takáčová, A., Fargašová, A.: Determining As, Cd, Cu, Pb, Sb, and Zn in leaves of trees collected near mining locations of Malé Karpaty Mts. in the Slovak Republic. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(5), 2018: 2179 – 2191.
- /7/ Molnárová, M., Ružičková, J., Lehotská, B., Filová, A., Fargašová, A.: Ťažké kovy v prhlave dvojdomej (*Urtica dioica*) a netýkavke malokvetej (*Impatiens parviflora*) z lokalít v Malých Karpatoch zaťažených starou banskou činnosťou. In: Hnilička, F. (zost.): *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2018*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze; Bratislava: Slovenská akadémia vied, Ústav ekológie lesa, 2018, 31-35.
- /8/ Fargašová, A., Molnárová, M., Ružičková, J., Lehotská, B.: Akumulácia ťažkých kovov v pálke širokolistej, ostrici pobrežnej, trsti obyčajnej a bahničke močiarnnej z lokalít pri vodných nádržiach v Malých Karpatoch. In: Kožnarová, V. (zost.): *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2019*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze; Bratislava: Slovenská akadémia vied, Ústav ekológie lesa, 2019, 22-24.
- /9/ Molnárová, M., Ružičková, J., Lehotská, B., Fargašová, A.: Ťažké kovy v balote čiernej, múrovníku lekárskom a čiernohlávku obyčajnom na lokalitách bývalých baní v Malých Karpatoch. In: Kožnarová, V. (zost.): *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2019*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze; Bratislava: Slovenská akadémia vied, Ústav ekológie lesa, 2019, 116-119.
- /10/ Topolska, J., Kostecka-Gugała, A., Ostachowicz, B., Latowski, D.: Selected metal content and antioxidant capacity of *Sambucus nigra* flowers from the urban areas versus soil parameters and traffic intensity. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 2020: 668-677.
- /11/ Sorokopudov, V.N., Sorokopudova, O.A., Trusov, N.A., Pachukova, N.G., Bamatov, I.M.: Environmental safety monitoring of heavy metals accumulation in some species of *Sambucus* L. *IOP conference series: Earth and Environmental Science*, 937, 2021: 022050.
- /12/ Qazimi, B., Stafilov, T., Bačeva Andonovska, K., Tašev, K., Geskovski, N., Dragusha, S., Koraq, H., Ejupi, V.: Characterization of mineral composition of leaves and flowers of wild-growing *Sambucus nigra*. *Acta Pharmaceutica*, 74, 2024: 165-175.
- /13/ Beinrohr, E.: Prietokové elektroanalytické metódy v praxi. 2 THETA: Český Těšín, ČR, 2013, 112 s.
- /14/ Shahzad, B., Tanveer, M., Rehman, A., Cheema, S.A., Fahad, S., Rehman, S., Sharma, A.: Nickel; whether toxic or essential for plants and environment – A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 2018: 641-651.
- /15/ Harish Sundaramoorthy, S., Kumar, D., Vijapurkar, S.G.: A new chlorophycean nickel hyperaccumulator. *Bioresource Technology*, 99, 2008: 3930-3934.
- /16/ Baker, A.J.M., Brooks, R.R.: Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1, 1989: 81-126.
- /17/ Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Hajar, A.S.M.: Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of metallophyte *Thlaspi caerulescens* J & C Presl. (Brassicaceae). *New Phytologist*, 127, 1994: 61-68.
- /18/ Brown S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S., Baker, A.J.M.: Phytomediation potential of *Thlaspi caerulescens* and bladder campion for zinc- and cadmium-contaminated soil. *J of Environmental Quality*, 23, 1994: 1151-1157.
- /19/ Wei, C.Y., Chen, T.B., Huang, Z.C.: Cretan brake (*Pteris cretica* L.): an arsenic accumulating plant. *Acta Ecologica Sinica*, 22, 2002: 777-782.

/20/ Lasat, M.L.: Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 31, 2002: 109-120.

/21/ McGrath, S.P., Zhao, F.J.: Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 14, 2003: 277-282.

PodĎakovanie

Uvedená práca bola podporená grantami VEGA 1/1139/11 a VEGA 1/0255/23.

OBSAH ŠTUDOVANÝCH KOVOV V ZLOŽKÁCH POTRAVOVÉHO REŤAZCA NA LOKALITE BÝVALÉHO VINOHRADU

CHANGES OF STRESS HORMONES PROFILE IN RAPHANUS SATIVUS VAR. SATIVUS PERS. BY ARSENIC TOXICITY

Marianna Molnárová¹, Mirko Bohuš¹, Viktória Krajanová², Agáta Fargašová¹

¹Katedra environmentálnej ekológie a manažmentu krajiny, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina B2, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovenská republika;

²Slovenské národné múzeum – Prírodovedné múzeum, Vajanského nábrežie 2, 810 06 Bratislava, Slovenská republika; marianna.molnarova@uniba.sk, mirko.bohus@uniba.sk, agata.fargasova@uniba.sk

Summary

The use of copper-based fungicides in vineyards has been common practice worldwide for a long time. Studying the transfer of Cu from the soil to plants growing on such soils would help determine whether this metal, along with other metals present (Fe, Ni, Pb, Zn), enters the flowers that provide pollen to bees and whether we can detect their increased concentration in honey from these apiaries. Our results show that Se was found in honey at elevated levels, while Pb and Cu were found at relatively negligible levels. We confirmed higher accumulation of Cu, Pb, and Zn in honeybee workers, while in drones, there was a higher concentration of Ni at the end of July 2020. Nickel was found in flowers at only three locations, and the highest Cu content was measured at the sampling site of an old vineyard.

Key words: Apis mellifera, Verbascum sp., soil, potential toxic (semi)metals, vineyard

Súhrn

Používanie fungicídov s obsahom medi vo vinohradoch je dlhodobo zaužívané na celom svete. Štúdium prenosu Cu z pôdy do rastlín rastúcich na takýchto pôdach by pomohlo zistiť, či sa tento kov spolu s ďalšími prítomnými kovmi (Fe, Ni, Pb, Zn) dostáva do kvetov, ktoré poskytujú peľ včelám a či zistíme ich zvýšenú koncentráciu aj v mede z týchto včelínov. Z našich výsledkov vyplýva, že v mede sa nachádzal vo zvýšenej miere Se, kým Pb a Cu boli v relatívne zanedbateľnej miere. Potvrdili sme vyššiu akumuláciu Cu, Pb a Zn v robotniciach včely medonosnej, kým v trúdoch bola na konci júla 2020 vyššia koncentrácia Ni. Nikel bol zistený v kvetoch len na troch lokalitách a najvyšší obsah Cu bol nameraný na odberovom mieste starého vinohradu.

Kľúčové slová: Apis mellifera, Verbascum sp., pôda, potenciálne toxické (polo)kovy, vinohrad

ÚVOD

V súčasnosti sa predmetom výskumu stáva predovšetkým meď (Cu), ktorá je zložkou niektorých fungicídov a algicídov, ktoré sa ešte stále intenzívne využívajú v poľnohospodárstve (napr. pri ochrane chmeľu, viniča, kakaovníka), alebo v závlahových vodách, odkiaľ sa Cu

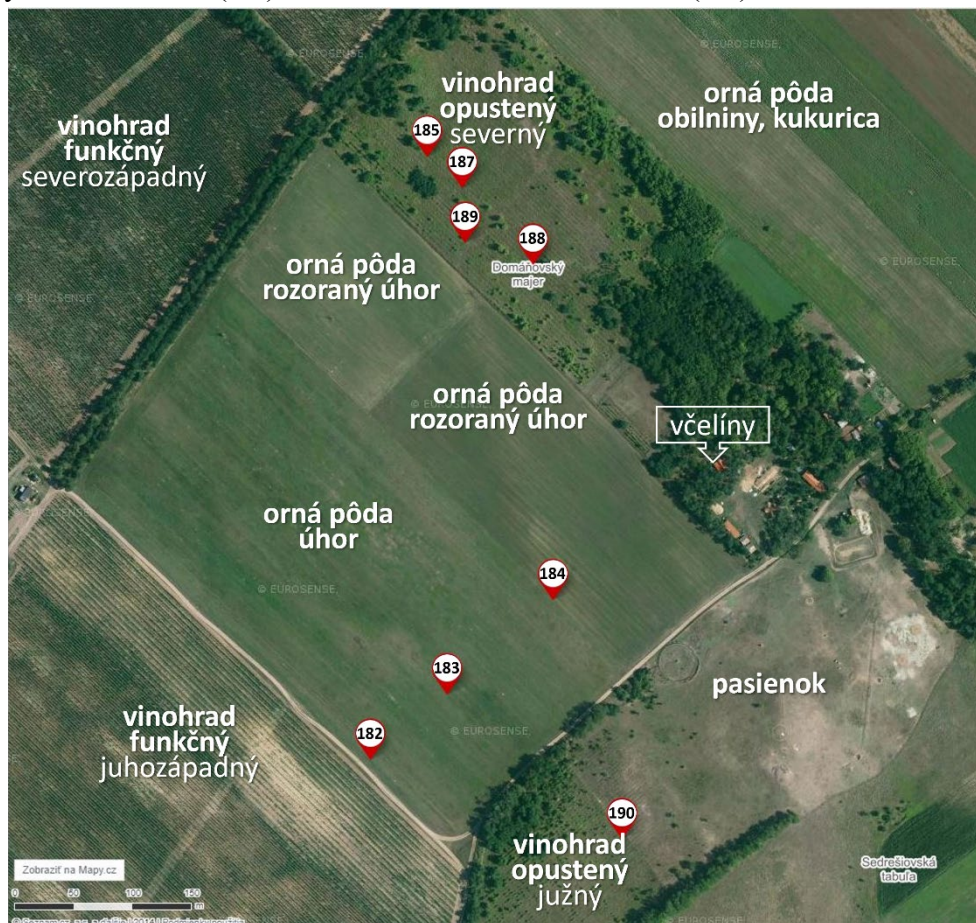
môže dostávať aj do pôdy, prípadne do vôd /1-4/. Koncentrácie Cu a Zn sa v takýchto pôdach pohybujú okolo hodnoty 290 mg Zn/kg a pre Cu v rozsahu 100-1500 mg Cu/kg vo vrchných častiach pôdy /5,6/. Preto sme sa zamerali na sledovanie výskytu týchto kovov v starom vinohrade. Výskum sme rozšírili aj o meranie koncentrácií ďalších potenciálne toxických (polo)kovov, ktorými sú Fe, Ni, Pb, Se. Pozornosť sme venovali pohybu týchto kovov aj v rámci trofických reťazcov – v kvetoch divozelu, rastúcom v starom vinohrade a v príľahlej pôde ležiacej úhorom a určenej na orbu. Vybrané prvky sme stanovovali aj v uhynutom včelstve z príľahlých úľov, pri ktorých sme predpokladali, že sa živili peľom z týchto kvetov, ako aj v mede vyrobenom z týchto úľov. Jedným z cieľov bolo zistiť, či dochádza k transportu prvkov z pôdy do kvetov, prípadne k bioakumulácii v robotniciach, trúdoch a mede.

MATERIÁL A METODA

Vzorky pôdy a biologického materiálu boli odoberané na troch susediacich lokalitách vo východnej časti okresu Komárno. Prvou bola lokalita s ornou pôdou ponechanou úhorom a s rozoraným úhorom (lokalita „U“) s tvarom relatívne pravidelného lichobežníka (plocha 16,4 ha s rozmermi cca 350x440 m). Z dvoch strán lokalita susedila s intenzívne obhospodávanými vinohradmi; vinohrad na JZ susedil s lokalitou priamo, vinohrad na SZ bol od lokality oddelený hustým agátovým stromoradiem. Na JV lokalita susedila s extenzívnym pasienkom a s opusteným vinohradom (biotop „Pi2 Suchomilné travinnobylinné porasty na vápnitých pieskoch“ /7/. Väčšinu hranice na SV tvoril opustený vinohrad, menšinu hranice agátový háj s lazničným osídlením. Tri odberové miesta na tejto lokalite (úhor – U1-182, U2-183, U3-184) boli lokalizované na gradiente vzdialenosti od intenzívneho vinohradu a po klesajúcom sklone svahu (123, 121 a 121 m n.m.). Druhá lokalita (označená ako „OV“ – opustený vinohrad) sa nachádzala na mieste starého opusteného vinohradu. Štyri odberové miesta (OV1-185, OV2-187, OV3-188, OV4-189) boli umiestnené na gradiente vzdialenosti od intenzívne obhospodávaného vinohradu v SZ susedstve lokality; výškový gradient nebolo možné aplikovať v dôsledku takmer nemerateľného sklonu lokality (120, 120, 120 a 121 m n.m.). Tretia lokalita bol pasienok s opusteným vinohradom („POV“) v najvyššej polohe s jedným odberovým miestom (POV-190), ktoré bolo zvolené s ohľadom na jeho najvyššiu nadmorskú výšku (129 m n.m.) oproti ostatným odberovým miestam (s predpokladom vyplavenia polutantov z pôdy) i s ohľadom na výskyt divozelu len na tomto mieste príslušnej lokality. Na odberových miestach) (Obr. 1) prvých dvoch lokalít (U, OV boli odobrané vzorky pôdy a kvetov divozelu (*Verbascum* sp.) dňa 31.7.2020, vzorky z tretej lokality (POV-190) 2.8.2020. V príľahlých úľoch boli pozbierané mŕtve včely medonosné (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758), robotnice aj trúdy, v dátumoch 12.6., 29.6. a 31.7.2020. Med z daného roku bol darovaný majiteľom úľov p. Milanom Tóthom.

Po vysušení pri 63 °C v sušiarňi sa vzorky pôdy, včiel, medu a kvetu divozelu zmineralizovali. V prípade včiel (robotníc zvlášť a trúdov zvlášť) boli zmineralizované vždy tri jedince na vzorku, v ostatných prípadoch sa navážilo min. 68,9 mg sušiny pôdy, kvetov alebo medu. Vzorky sa nechali stáť cez noc v 5 ml zmesi koncentrovaných roztokov HNO₃:H₂O₂ (4:1) v autoklávoch ZA-1 (Česká republika) a na ďalší deň sa mineralizovali ešte 1 hod pri 180 °C v sušiarňi. Po ochladení autoklávu sa vzorka doplnila destilovanou vodou na objem 25 ml. Obsah prvkov – medi (Cu), železa (Fe), niklu (Ni), olova (Pb), selénu (Se) a zinku (Zn) - sa

vo vzorkách stanovil galvanostatickou chronopotenciometrickou elektrochemickou metódou na prístroji Ecaflow 150GLP (Istran, SR) /8,9/. Bioakumulačný faktor (BAF) sa vypočítal ako: BAF, t.j. (koncentrácia (polo)kovu v kvetoch)/(koncentrácia (polo)kovu v pôde). Štandardné roztoky a elektrolyty pochádzali z firmy Istran (SR), ostatné chemikálie s analytickou čistotou (p.a.) z firmy centralCHEM (SR) – HCl a z ITESu Vranov, s.r.o. (SR) - HNO₃ a H₂O₂.



Obrázok 1: Odberové miesta na študovaných lokalitách. Legenda: U – lokalita „U“ (úhor – 182, 183, 184), OV – lokalita „OV“ (opustený vinohrad – 185, 187, 188, 189), POV – lokalita „POV“ (pasienok v opustenom vinohrade - 190)

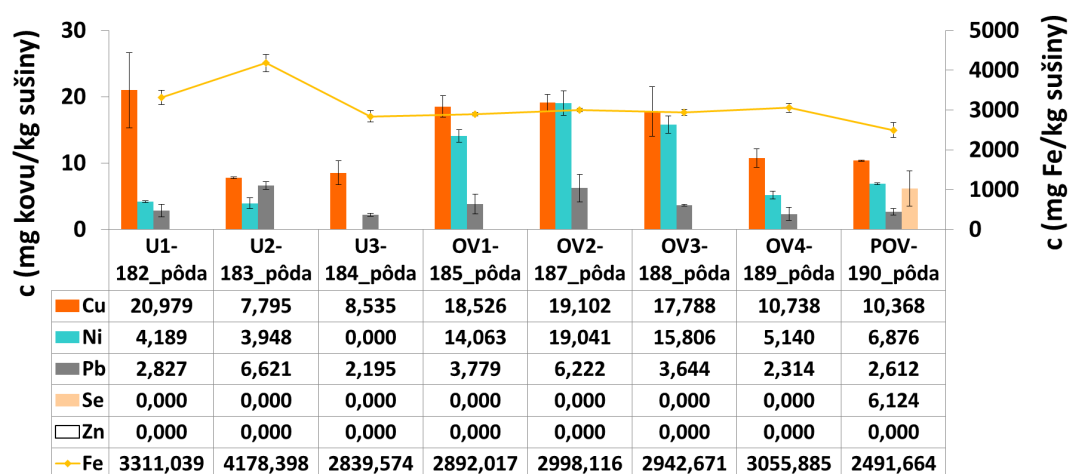
VÝSLEDKY A DISKUSIA

V grafoch 1-3 sú namerané hodnoty Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Zn v pôde (graf 1), kvetoch divozelu (graf 2), robotniciach a trúdoch, ako aj v mede (graf 3). Prítomnosť sledovaných kovov v pôde na všetkých lokalitách bola detekovaná v prípade Cu, Pb a Fe, ako je to vidieť na grafe 1. Se bol zistený len na kontrolnej lokalite POV-190, a Ni na všetkých lokalitách okrem U3-184.

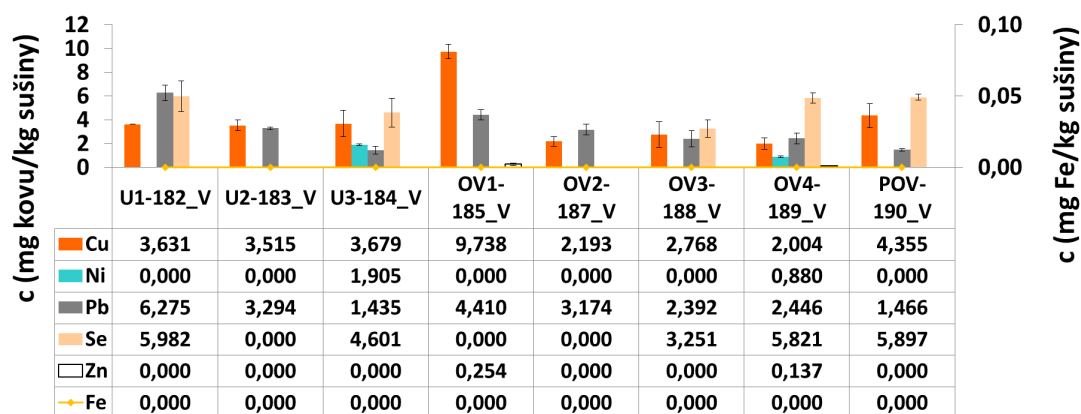
V grafe 2 sme v kvetoch divozelu potvrdili Pb a Cu na všetkých študovaných lokalitách, ale prítomnosť Ni, Se a Zn v kvetoch sa namerala iba na niektorých lokalitách (Ni na U3-184, OV4-189; Se na U1-182, U3-184, OV3-188, OV4-189 a POV-190; Zn na OV1-185 a OV4-189).

Zinok a olovo bolo zistené vo vyšších koncentráciách v robotniciach než v trúdoch (graf 3). V prípade Cu bola situácia identická, ale v poslednom zbere 31.7.2020 trúdy mali vyšší obsah Cu ako robotnice z toho istého zberu. V mede sa potvrdila prítomnosť viacerých prvkov

v poradí: Se>Pb>Cu, ale nepotvrdila sa prítomnosť Ni, Fe a Zn. Prítomnosť kovov a ich obsah v mede môže súvisieť s danou lokalitou, avšak najšť koreláciu medzi obsahom kovov a botanickým pôvodom rastlín, ktoré poskytli nektár a medovicu na výrobu medu, nemožno univerzálne využiť v rámci lokalizácie pôvodu medu vo svete /10/. Železo sa nepodarilo namerať vo včelách ani v mede, čo je vidieť na grafe 3. Tento prvok však nameral v mede aj vo včelách Aljedani /11/. V našom prípade máme pri použití merania Fe pomocou prístroja Ecaflow isté technické obmedzenia, kde v prípade vyšších koncentrácií niektorých prvkov dochádza k rušeniu signálu pre Fe a preto nie je vylúčené, že pri kvetoch a včelách (graf 2 a 3) môžu byť prítomné koncentrácie Fe, ktoré boli rušené inými prvkami v biologických vzorkách.

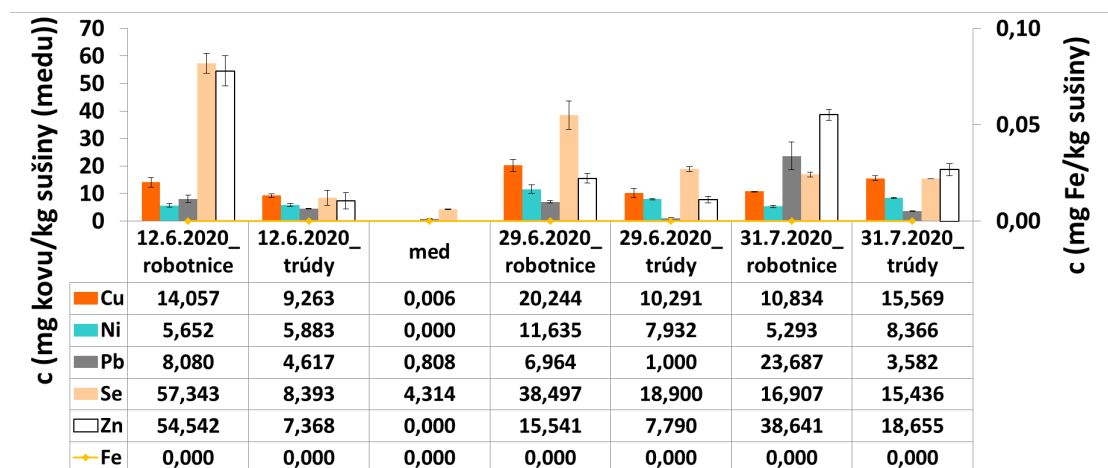


Graf 1: Koncentrácie sledovaných kovov na odberových miestach v pôde. V grafe sú znázornené aritmetické priemery so štandardnou odchýlkou (SD). Legenda: c = koncentrácia.



Graf 2: Koncentrácie sledovaných kovov na odberových miestach v kvetoch divozelu. V grafe sú znázornené aritmetické priemery so štandardnou odchýlkou (SD). Legenda: c = koncentrácia; V – kvety divozelu (*Verbascum* sp.).

Pb v koncentrácii približne 4 µg/kg medu namerali Godebo et al. /12/ ako priemernú hodnotu vo vzorkách z 50 štátov USA. Naša hodnota bola 200-násobne vyššia (graf 3), ale na rozdiel od vyššie uvádzaných autorov, ktorí v mede namerali koncentrácie Ni okolo 16 µg/kg, v našej vzorke sme jeho prítomnosť nezaznamenali. O prítomnosti prvkov vo včelách sa uvažuje aj v súvislosti s ich výskytom v atmosfére, odkiaľ sa môžu do včiel dostávať /13/.



Graf 3: Koncentrácie sledovaných kovov na odberových miestach vo včelách a mede. V grafe sú znázornené aritmetické priemery so štandardnou odchýlkou (SD). Legenda: c = koncentrácia.

V tab. 1 sú vypočítané bioakumulačné faktory (polo)kovov v kvetoch divozelu. Ako je vidieť z grafu 1, Se sa potvrdil len v pôde na lokalite POV-190 a Zn nebol detekovaný. Preto sa na daných lokalitách nedali vypočítať ich BAF hodnoty. Kým Ni sa akumuloval v kvetoch len na lokalite OV4-189, keď sa potvrdila v kvetoch na všetkých lokalitách, ale ich BAF hodnota nepresiahla 0,6 (tab. 1).

Tab. 1: Bioakumulačný faktor (BAF) v kvetoch divozelu. Legenda: V – kvety divozelu (*Verbascum* sp.)

lokalita	BAF					
	Cu	Fe	Ni	Pb	Se	Zn
U1-182_V	0,17	-	-	2,22	-	-
U2-183_V	0,45	-	-	0,50	-	-
U3-184_V	0,43	-	-	0,65	-	-
OV1-185_V	0,53	-	-	1,17	-	-
OV2-187_V	0,11	-	-	0,51	-	-
OV3-188_V	0,16	-	-	0,66	-	-
OV4-189_V	0,19	-	0,17	1,06	-	-
OVP-190_V	0,42	-	-	0,56	0,96	-

Vyššia akumulácia bola nameraná v prípade Pb. Shah et al. publikovali výskum zameraný na sorpciu Cu a Ni v usušených listoch *Verbascum thapsus*, a potvrdili ich značnú biosorpciu, čo by sa mohlo využiť na bioremediáciu /14/. Podľa našej literárnej rešerše však nie sú publikované práce, ktoré by sa venovali stanoveniu kovov v tejto rastline rastúcej napr. na kontaminovanej lokalite, preto nevieme porovnať naše údaje s inými ako Arslan et al. zisteniami /15/. Arslan et al. sledovali obsah kovov vo *Verbascum bombyciferum* Boiss., ktorý môže byť využitý aj ako možný bioindikátor pre posudzovanie prítomnosti kovov v životnom

prostředí. Navrhují monitorovanie zvýšenej koncentrácie Cd, Cr(III), Pb a Zn prostredníctvom *V. bombyciferum* a zároveň dokáže táto rastlina tieto prvky akumulovať spolu ešte s Cu a Ni.

ZÁVER

V našich pokusoch sme pozorovali odlišnú koncentráciu vo včelách hlavne v prípade Cu, Pb a Zn, kde tieto prvky boli vyššie v robotniciach, ktoré prijímajú, na rozdiel od trúdov, potravu počas celého svojho aktívneho života. Aj keď v pôdach a kvetoch na priľahlých lokalitách vinohradov bola nameraná prítomnosť Cu, Ni a Pb, tieto prvky sa nenachádzali vo zvýšenej miere v mede. V pôde sa síce namerá Ni na všetkých lokalitách okrem U3-184, ale jeho akumulácia sa nepotvrdila v kvetoch divozelu a BAF bolo možné vypočítať iba pre lokalitu OV4-189.

LITERATÚRA

- /1/ Tiecher, T.L., Ceretta, C.A., Tiecher, T., Ferreira, P.A.A., Nicoloso, F.T., Soriani, H.H., Rossato, L.V., Mimmo, T., Cesco, S., Lourenzi, C.R., Giachini, A.J., Brunetto, G.: Effects of zinc addition to a copper-contaminated vineyard soil on sorption of Zn by soil and plant physiological responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 2016: 109-119.
- /2/ Sowunmi, F.A., Famuyiwa, G.T., Oluyole, K.A., Aroyeun, S.O., Obasoro, O.A.: Environmental burden of fungicide application among cocoa farmers in Ondo state, Nigeria. *Scientific African*, 6, 2019: e00207.
- /3/ Pérez-Mayán, L., Ramil, M., Cela, R., Rodríguez, I.: Multiresidue procedure to assess the occurrence and dissipation of fungicides and insecticides in vineyard soils from Northwest Spain. *Chemosphere*, 261, 2020: 127696.
- /4/ Chrisfield, B.J., Hopfer, H., Elias, R.J.: Impact of copper-based fungicides on the antioxidant quality of ethanolic hop extracts. *Food Chemistry*, 355, 2021: 129551.
- /5/ Duplay, J., Semhi, K., Errais, E., Imfeld, G., Babcsanyi, I., Perrone, T.: Copper, zinc, lead and cadmium bioavailability and retention in vineyard soils (Rouffach, France): The impact of cultural practices. *Geoderma*, 230-231, 2014: 318-328.
- /6/ Sonoda, K., Hashimoto, Y., Wang, S.-L., Ban, T.: Copper and zinc in vineyard and orchard soils at millimeter vertical resolution. *Science of The Total Environment*, 689, 2019: 958-962.
- /7/ Valachovič, M.: Pi2Suchomilné travinno-bylinné porasty na vápnitých pieskoch. In: Stanová, V., Valachovič, M. (Eds.): Katalóg biotopov Slovenska. Daphne – inštitút aplikovanej ekológie, Bratislava, 225 s.
- /8/ Molnárová, M., Fargašová, A.: Relationship between various physiological and biochemical parameters activated by cadmium in *Sinapis alba* L. and *Hordeum vulgare* L. *Ecological Engineering*, 49, 2012: 65-72.
- /9/ Istran: EcaFlow User Manual. Trace analysis by flow coulometry. Istran: Bratislava, Slovak Republic, 2016: 72p.+77 anexes (Application lists for elements).
- /10/ Mejías, E., Garrido, T.: Analytical procedures for determining heavy metal contents in honey: A bioindicator of environmental pollution. In: de Alencar Arnaut de Toledo, V.: Honey Analysis. 2017, 378 pp. DOI: 10.5772/66328
- /11/ Aljedani, D.M.: Revealing some elements and heavy metals in honeybee and beeswax samples collected from different environments. *Entomology and Applied Science Letters*, 7, 2020: 89-101.
- /12/ Godebo, T.R., Stoner, H., Taylor, P., Jeuland, M.: Metals in honey from bees as a proxy for environmental contamination in the United States. *Environmental Pollution*, 364, 2025: 125221.
- /13/ Costa, A., Veca, M., Barberis, M., Tosti, A., Notaro, G., Nava, S., Lazzari, M., Agazzi, A., Tangorra, F.M.: Heavy metals on honeybees indicate their concentration in the atmosphere. A proof of concept. *Italian Journal of Animal Science*, 18, 2019: 309-315.
- /14/ Shah, S.A., Shah, S., Faisal, S., Rizwan, M., Ali, B., Akbar, T., Syed I., Syed, S.: Biosorption of heavy metals copper and nickel by *Verbascum thapsus*. *Bioscience Research*, 18, 2021: 695-704.
- /15/ Arslan, H., Gülerüz, G., Leblebici, Z., Kırmızı, S., Aksoy, A.: *Verbascum bombyciferum* Boiss. (Scrophulariaceae) as possible bio-indicator for the assessment of heavy metals in the environment of Bursa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163, 2010: 105-113.

Pod'akovanie

Uvedená práca bola podporená grantom VEGA 1/0255/23.

ODEZVA HRACHU NA PROSTŘEDÍ KONTAMINOVANÉ SMĚSÍ LÉČIV

RESPONSE OF PEA PLANTS TO THE ENVIRONMENT CONTAMINATED WITH DRUG MIXTURE

Jakub Zdařil, Valentina Steinhauserová, Štěpán Zezulka, Marie Kummerová

Masarykova univerzita Brno, Přírodovědecká fakulta, Ústav experimentální biologie, Odd.
experimentální biologie rostlin, Kotlářská 2, 611 37 Brno,
534157@mail.muni.cz, 534236@mail.muni.cz, zezulka@sci.muni.cz,
kumerova@sci.muni.cz

Summary

Environmental contamination by relatively low concentrations of individual drugs naproxen (NPX) and paracetamol (PCT) and their mixtures affected the growth of pea plant root system – the number of lateral roots was significantly lowered but the length of primary and lateral roots was stimulated by low concentration (0,05 mg/l) of both individual drugs and their mixtures. The growth of shoot was not impacted. Drugs and especially their mixtures in low concentrations induced an increase of photosynthetic pigment content but had no considerable effect on the performance of primary photosynthetic processes. However, the nature of possible interaction (synergism or antagonism) between drugs in the mixture was ambiguous.

Key words: naproxen, paracetamol, binary mixture, growth, root morphology, primary photosynthetic processes

Souhrn

Zatížení prostředí relativně nízkými koncentracemi jednotlivých léčiv naproxenu (NPX) a paracetamolu (PCT) i jejich směsi ovlivnilo růst kořenového systému rostlin hrachu – významně byl snížen pouze počet laterálních kořenů, naopak délka primárního i laterálních kořenů byla nízkou koncentrací (0,05 mg/l) jednotlivých léčiv i jejich směsi stimulována. Růst nadzemních částí rostlin nebyl významně ovlivněn. Léčiva a zejména jejich směsi při nižších koncentracích indukovaly zvýšení obsahu fotosyntetických pigmentů, ale neměly žádný významný dopad na výkonnost primárních procesů fotosyntézy. Povaha možné interakce (synergismus nebo antagonismus) mezi léčivy ve směsi však nebyla jednoznačná.

Klíčová slova: naproxen, paracetamol, binární směs, růst, morfologie kořene, primární fotosyntetické procesy

ÚVOD

Na znečištění životního prostředí se v současné době podílejí i léčiva a jejich transformační produkty. V čistírnách odpadních vod nejsou zcela degradována, a tak v podobě komplexní směsi s možnými synergickými nebo antagonistickými účinky obohacují odpadní vody a kaly, které jsou v zemědělství využívány jako hnojivo nebo k zavlažování půd /1/. Chronická kontaminace životního prostředí je tak rizikem pro vodní i suchozemské organismy.

Rostliny jsou schopné tato xenobiotika přijímat, transportovat, transformovat a akumulovat. Možné účinky léčiv na rostliny, které představují významnou trofickou úroveň v potravním a potravinovém řetězci, však nejsou doposud zcela známy.

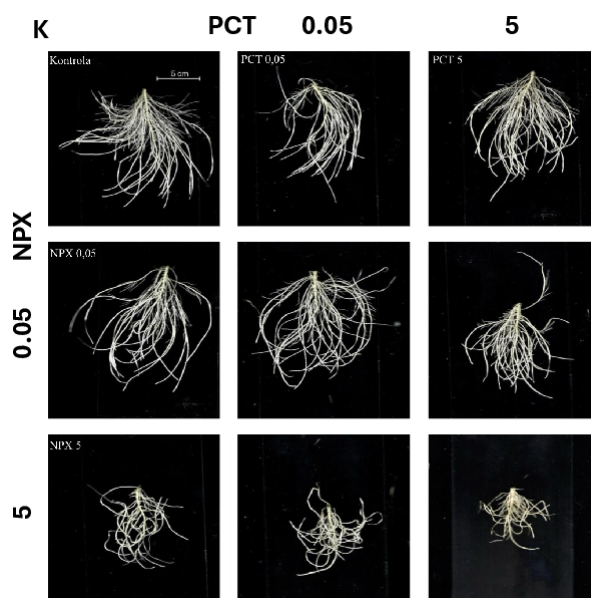
MATERIÁL A METODY

Hrách setý (*Pisum sativum* L., cv. Zázrak z Kelvedonu) byl kultivován v živném roztoku /2/ bez (kontrola) nebo s přidavkem naproxenu (NPX) a paracetamolu (PCT) samostatně nebo ve směsích při koncentracích 0,05 a 5 mg/l. Kultivace probíhala sedm dní při teplotě 22 ± 1 °C, relativní vzdušné vlhkosti 60 %, ozáření 200 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ při fotoperiodě 14/10 h (den/noc). Roztok byl pravidelně (po 24 h) provzdušňován. U rostlin byly hodnoceny růst kořene (délka primárního a laterálních kořenů, počet laterálních kořenů, sušina), růst nadzemní části (sušina), parametry fluorescence chlorofylu (maximální kvantový výtěžek fotosystému II, F_v/F_m) a obsah fotosyntetických pigmentů (chlorofyl *a* a *b*, karotenoidy) /3/. Data byla vyhodnocena metodou analýzy rozptylu (ANOVA, Tukey test, $p < 0,05$).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vliv jednotlivých léčiv, přijatých rostlinami z kontaminovaného prostředí, na procesy determinující jejich růst a vývoj je již relativně dobře znám /4/. Otázkou však zůstává, do jaké míry jsou získané výsledky odrazem vlivu reálného prostředí s koktejlem léčiv s rozdílnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi.

Příjem vody a v ní rozpuštěných látek je jedna z významných funkcí kořenového systému. Změna v jeho morfologii, jako je délka primárního kořene nebo počet a délka laterálních kořenů, může být, jak je patrné z obr. 1 a 2, díky přímému kontaktu pletiv kořenů s kontaminovaným prostředím citlivým ukazatelem toxicity.

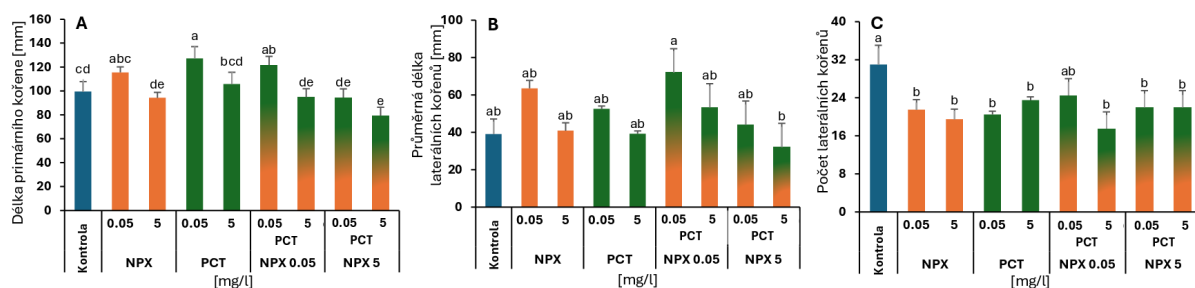


Obr. 1: Kořeny hrachu po 7 dnech kultivace v živném roztoku s přidavkem PCT, NPX a jejich směsí (0,05 a 5 mg/l). K = kontrola, úsečka = 5 cm.

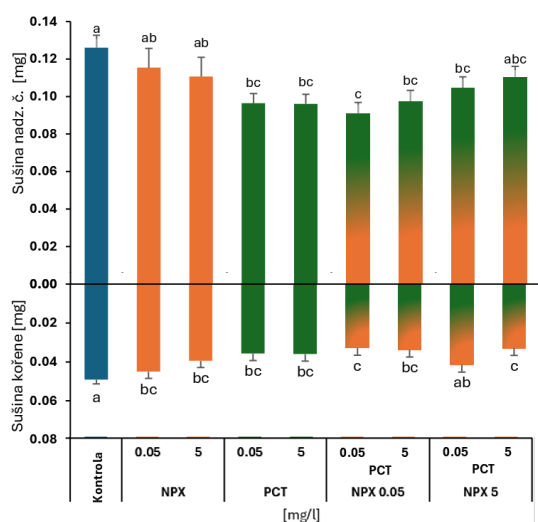
Z obr. 1 i 2A je zřejmé, že nízké zatížení PCT 0,05 mg/l i jeho směsí s NPX 0,05 mg/l, simulující reálné prostředí, stimulovalo růst primárního kořene. Vyšší koncentrace léčiv (směsí PCT 5/NPX 0,05 mg/L a zejména PCT 5/NPX 5 mg/l) způsobily inhibici jeho růstu oproti kontrole.

Podobně průměrná délka laterálních kořenů I. řádu byla stimulována směsí PCT 0,05/NPX 0,05 mg/l a inhibována PCT 5/NPX 5 mg/l (obr. 2B). Počet laterálních kořenů však byl snížen jak vlivem jednotlivých léčiv, tak i jejich směsí (obr. 2C). Tato skutečnost může představovat adaptační mechanismus rostlin reagující na stres vyvolaný nízkou úrovní

kontaminace. Naproti tomu, vysoká koncentrace léčiv může způsobit redukcii délky kořenů, pravděpodobně v důsledku inhibice buněčného dělení a prodlužování buněk /5/.



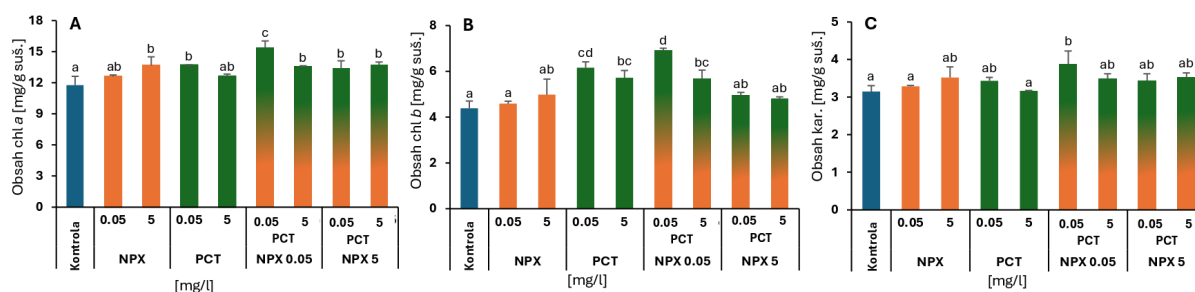
Obr. 2: Délka primárního kořene (A), průměrná délka laterálních kořenů (B) a jejich počet (C) po 7 dnech kultivace v živném roztoku s přidavkem PCT, NPX a jejich směsí (0,05 a 5 mg/l). Sloupce představují průměr 5 opakování, chybová úsečka směrodatnou odchylku. Různá písmena označují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey test, $p < 0,05$).



Snížení obsahu sušiny kořenů i nadzemní části bylo zaznamenáno u rostlin hrachu rostoucích v přítomnosti PCT 0,05 a 5 mg/l, NPX 5 mg/l a zejména ve směsi PCT 0,05/NPX 0,05 mg/l (obr. 3).

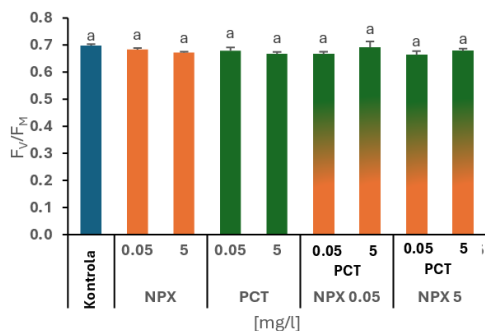
Obr. 3: Sušina kořene a nadzemní části rostlin hrachu po 7 dnech kultivace v živném roztoku s přidavkem PCT, NPX a jejich směsí (0,05 a 5 mg/l). Statistické vyhodnocení viz obr. 2.

Mohou přijatá léčiva nebo produkty jejich transformace ovlivnit proces fotosyntézy a tím i produkci biomasy? Nízké zatížení prostředí binární směsí léčiv (PCT 0,05/NPX 0,05 mg/l) ovlivnilo obsah fotosyntetických pigmentů, což je patrné ze zvýšení obsahu chlorofylu *a* (o 31 %), chlorofylu *b* (o 58 %), i karotenoidů (obr. 4).



Obr. 4: Obsah chlorofylu *a* (A), chlorofylu *b* (B) a karotenoidů (C) v listech rostlin hrachu po 7 dnech kultivace v živném roztoku s přidavkem PCT, NPX a jejich směsí (0,05 a 5 mg/l). Statistické vyhodnocení viz obr. 2.

Z analýzy parametrů fluorescence chlorofylu lze posoudit okamžitou odezvu fotosyntetického aparátu rostlin na vliv stresoru. Z námi získaných výsledků je však zřejmé, že u rostlin hrachu, které byly kultivovány pouze po dobu 7 dní v prostředí s léčivy, nebyly prokázány žádné významné změny v hodnotách potenciálního kvantového výtěžku (F_v/F_m ; obr. 5).



Obr. 5: Potenciální kvantový výtěžek fotosystému II (F_v/F_m) u rostlin hrachu po 7 dnech kultivace v živném roztoku s přidavkem PCT, NPX a jejich směsí (0,05 a 5 mg/l). Statistické vyhodnocení viz obr. 2.

ZÁVĚR

Získané výsledky dokládají, že již v důsledku relativně krátkodobého působení léčiv, a to zejména jejich směsí při vyšším zatížení prostředí, se významně změnila morfologie kořenového systému rostlin hrachu, což vést ke snížení celkové absorpční plochy kořenů, a tím i omezení příjmu vody a živin. Tato skutečnost se nesporně projeví v růstu a vývoji rostlin.

LITERATURA

- /1/ Koopaei, N.N., Abdollahi, M.: Health risks associated with the pharmaceuticals in wastewater. DARU J Pharm Sci, 25, 2017: 9. <https://doi.org/10.1186/s40199-017-0176-y>
- /2/ Reid, P.H., York, E.T.: Effects of nutrient deficiencies on growth and fruiting characteristics of peanuts in sand culture. Agron. J. 50, 1958: 63-67
- /3/ Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol, 148, 1987: 350–382.
- /4/ De Mastro, F., Brunetti, G., Traversa, A., Cacace, C., Cocozza, C.: Investigation of the effect of twelve pharmaceuticals on germination and growth parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.). Appl Sci, 13, 2023: 6759. <https://doi.org/10.3390/app13116759>
- /5/ Svobodníková, L., Kummerová, M., Zezulka, Š., Babula, P., Sendecká, K.: Root response in *Pisum sativum* under naproxen stress: morpho-anatomical, cytological, and biochemical traits. Chemosphere, 258, 2020: 127411. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127411>

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory v rámci Specifického výzkumu na vysoké škole.

THE EFFECT OF PESTICIDE ON THE ACTIVITY OF SUPEROXIDE-DISMUTASE AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONCENTRATIONS IN MAIZE

VPLYV PESTICÍDU NA AKTIVITU SUPEROXIDDISMUTÁZY A KONCENTRÁCIU FOTOSYNTETICKÝCH PIGMENTOV V KUKURICI

Martin Ševcov, Kristína Šípošová-Holeková, Marko Bajus, Danica Kučerová, Karin Kollárová, Eva Labancová

Department of Glycobiotechnology, Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 84538 Bratislava, Slovakia

Summary

Although insecticides can aid plants in defending against pests, their use must be carefully regulated, as excessive or uncontrolled application may harm plants and pose health risks to humans upon consumption. In this study, we investigated the response of maize (*Zea mays* L.) to different doses of the insecticide Gondola, containing the active ingredient sulfoxaflor. Superoxide dismutase (SOD) activity, carotenoid, and chlorophyll concentrations were monitored individually in the first, second, and third leaves at three time points 4, 24, and 48 hours after foliar application. Slight increases in concentration of carotenoids and SOD activity indicate the activation of maize's antioxidant system, even at the recommended pesticide dose.

Key words: maize, SOD, pesticide, photosynthetic pigments

Súhrn

Insekticídy môžu pomáhať rastlinám brániť sa proti škodcom, avšak ich použitie musí byť starostlivo regulované, pretože nadmerná alebo nekontrolovaná aplikácia môže rastlinám škodiť a následne pri konzumácii predstavovať zdravotné riziko pre ľudí. V tejto štúdii sme skúmali reakciu kukurice (*Zea mays* L.) na rôzne dávky insekticídu Gondola, ktorý obsahuje účinnú látku sulfoxaflor. Aktivitu superoxiddismutázy (SOD), koncentráciu karotenoidov a chlorofylov sme sledovali osobitne v prvom, druhom a treťom liste v troch časových bodoch – 4, 24 a 48 hodín po foliárnej aplikácii. Mierne zvýšenie koncentrácie karotenoidov a aktivity SOD poukazuje na aktiváciu antioxidačného systému kukurice aj pri odporúčanej dávke pesticídu.

Kľúčové slová: kukurice, pesticidy, SOD, fotosyntetické pigmenty

INTRODUCTION

Modern agriculture faces various challenges, including weather and climate changes, as well as threats from herbivores, parasites, insects, and other pests /1/. The use of pesticides is commonly employed to support plant protection against pests; however, doses higher than recommended can cause changes in plant metabolism /2/. Such exposure can lead to oxidative stress, a physiological condition characterized by the excessive production of reactive oxygen

species (ROS), which may damage lipids, proteins, and nucleic acids in plant cells /3/. Plants counteract these effects through antioxidant defence systems, among which superoxide dismutase plays a crucial role by catalysing the dismutation of superoxide radicals into oxygen and hydrogen peroxide /4/. We assessed changes in physiological parameters with an emphasis on superoxide-dismutase activity and photosynthetic pigment concentrations. These parameters were observed in maize (*Zea mays* L.), a globally important cereal crop that was exposed to the systemic pesticide Gondola with the active ingredient sulfoxaflor.

MATERIALS AND METHODS

Maize grains (*Zea mays* L.) hybrid Luciana were used in the experiments. Maize grains were surface decontaminated in sodium hypochlorite (4.7%), rinsed in tap water and distilled water and left to imbibe in the dark for 3 hours. The grains were planted in soil (garden substrate) saturated with water (70% of water holding capacity). The grains germinated in plastic containers for 3 days and afterwards grew for 16 days in controlled conditions (24 ± 1 °C, 60% humidity, 16/8 hours' photoperiod). On the 14th day of the cultivation, pesticide Gondola containing the active ingredient sulfoxaflor was applied on leaves using foliar spraying. The treatments were as follows: control – leaves sprayed with distilled water, Gondola 1x (G1) – leaves sprayed with distilled water containing a recommended dose of Gondola ($24 \mu\text{g ml}^{-1}$ of sulfoxaflor), Gondola 2x (G2) – leaves sprayed with distilled water containing twice of the recommended dose of Gondola ($48 \mu\text{g ml}^{-1}$ of sulfoxaflor). Plants were sampled in three-time points, 4 hours, 24 hours, and 48 hours after spraying. The material used for analyses: the first two true leaves collectively and the third leaf separately, were frozen in liquid nitrogen. The soluble protein concentration was analysed using the Bradford assay /5/ with bovine serum albumin serving as the calibration standard and the activity of the antioxidant enzyme superoxide dismutase (SOD) was determined spectrophotometrically /6/. Chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and carotenoid contents were determined from 20 mg of plant material. Samples were ground in a mortar with magnesium carbonate (MgCO_3) and sea sand in a 2:1 ratio. The homogenate was extracted in 8 ml of 80% (20 ml acetone/80 ml water) acetone and centrifuged at $8640 \times g$ for 11 min at 4 °C. The resulting supernatant was transferred to microplate wells (300 μl per well) and absorbance was recorded at 663, 647, 450, and 710 nm using a microplate reader. Pigment concentrations were calculated from the absorbance values. The data were analysed by two-factorial ANOVA (factors pesticide level and time) and Tukey test at $p \leq 0.05$ using R /7/.

RESULTS AND DISCUSSION

Four hours after the application of pesticide, in the first and second leaves, we found a significant difference between the control and the G2 treatment, with an increase in SOD activity of 136.5% compared to the control (Fig. 1A). After 24 hours, no statistically significant differences between treatments in SOD activity were determined. After 48 hours, there was a significant increase in the G1 treatment by 40.8% and in the G2 treatment by 81.1% compared to the control. Increased SOD activity at 48 hours is possibly reflecting sustained oxidative stress or compensatory induction of antioxidant defences /8/.

Four hours after the application, in the third leaf, we found a significant difference between the control and the G2 treatment, where SOD activity increased by 134%. After 24 hours, a significant increase of 40.2% was ascertained in the G2 treatment compared to the control. After 48 hours, no statistically significant differences in SOD activity between treatments were found (Fig.1B). No significant change after 24 hours may be attributed to dynamic character of antioxidant response, where it can peak early than return to baseline as other antioxidant defences are utilised [9].

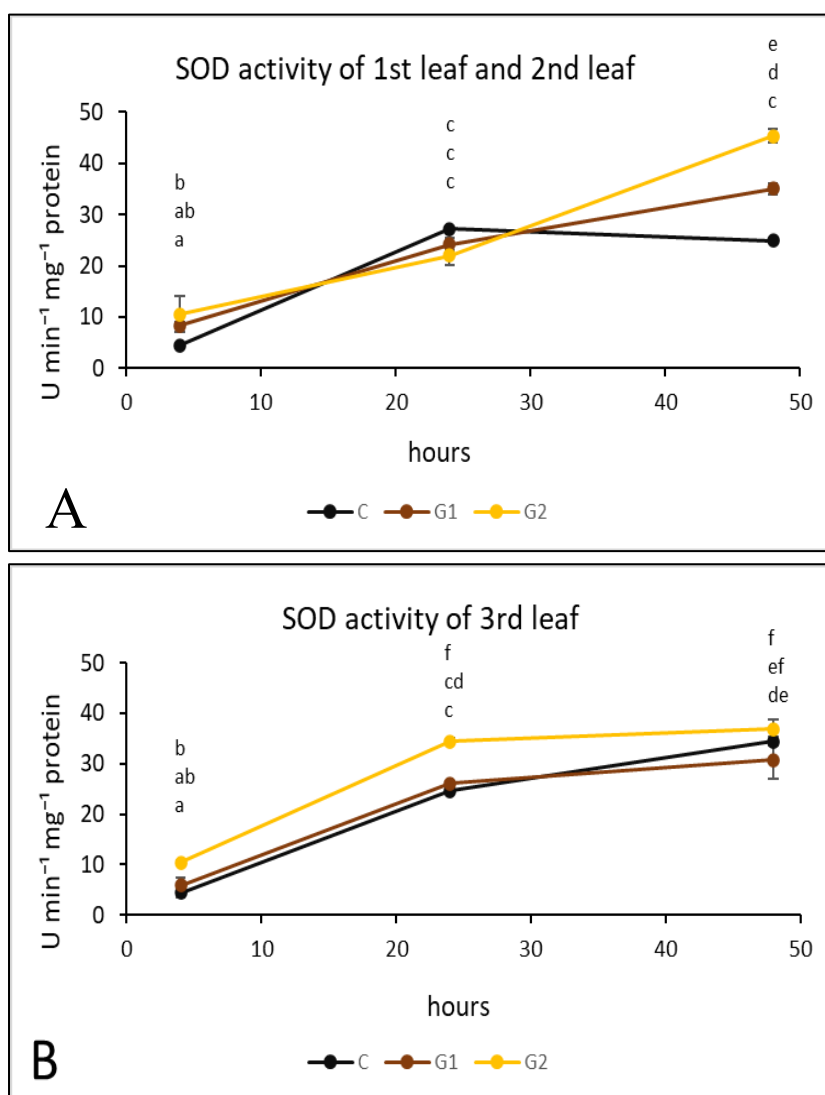


Fig. 1: SOD activity in the first/second (A) and the third leaf (B) of maize over a 48-hour period. C – control, G1 – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola, G2 – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide Gondola. The values represent means $\pm$ standard error. Different letters denote statistically significant differences between the treatments at $p < 0.05$.

After four hours in the first and second leaves, we found a significant difference in the chlorophyll *a* concentration between the control and the G2 treatment, with a 9.7% decrease (Fig. 2). After 24 hours, a 27.7% increase was recorded in the G1 treatment compared to the control. After 48 hours, no statistically significant differences in chlorophyll *a* concentration

between treatments were found. After four hours in the first and the second leaf, we found a significant 5.5% increase in chlorophyll *b* concentration in the G1 treatment compared to the control. After 24 hours, significant differences were recorded in the G1 treatment with an 8.8% increase, and in the G2 treatment with a 2.3% increase in chlorophyll *b* concentration compared to the control. After 48 hours, no statistically significant differences between treatments were determined (Fig. 2).

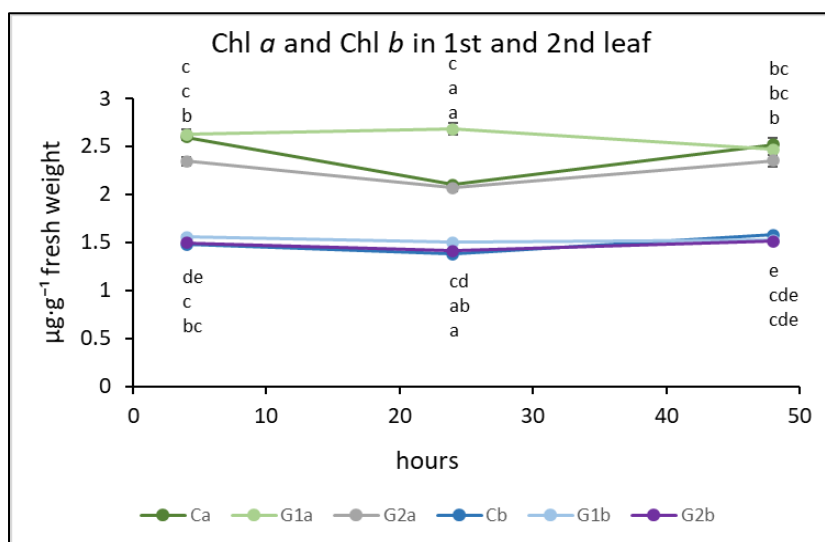


Fig. 2 : Concentration of chlorophyll *a* and chlorophyll *b* in the first and second leaves of maize over a 48-hour period. Ca – control (chlorophyll *a*), G1a – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola (chlorophyll *a*), G2a – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide (chlorophyll *a*). Cb – control (chlorophyll *b*), G1b – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola (chlorophyll *b*), G2b – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide (chlorophyll *b*). The values represent means $\pm$ standard error. Different letters denote statistically significant differences between the variants at $p < 0.05$.

In the third leaf, after four hours, we found a significant difference in chlorophyll *a* concentration between the control and the G2 treatment, with an 8.1% decrease (Fig 3). After 24 hours, increases of 35.1% in G1 and 30.6% in G2 were found compared to the control. After 48 hours, significant differences were found between the control and the G1 treatment, with a 16.1% increase, and between the control and the G2 treatment, with a 3.8% decrease.

In the third leaf, after four hours, no statistically significant differences in chlorophyll *b* concentration between variants were found. After 24 hours, increases in chlorophyll *b* concentration were ascertained in the G1 treatment by 7.8% and in the G2 treatment by 8.2% compared to the control. After 48 hours, significant differences were noted in the G1 treatment, with a 7.1% increase compared to the control (Fig. 3).

In the first and second leaves, after four hours, we found a significant 10.3% increase in carotenoid concentration in the G1 treatment. After 24 hours, increases of 15.3% in the G1 treatment and 11.1% in the G2 treatment were recorded compared to the control. After 48 hours, no statistically significant differences between treatments were determined (Fig 4).

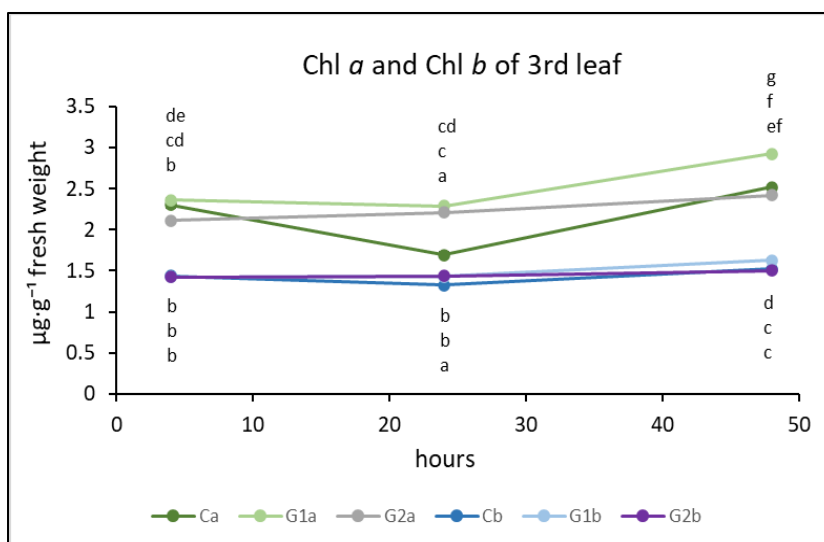


Fig. 3: Concentration of chlorophyll a and chlorophyll b in the third leaf of maize over a 48-hour period. Ca – control (chlorophyll a), G1a – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola (chlorophyll a), G2a – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide (chlorophyll a). Cb – control (chlorophyll b), G1b – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola (chlorophyll b), G2b – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide (chlorophyll b). The values represent means $\pm$ standard error. Different letters denote statistically significant differences between the variants at $p < 0.05$.

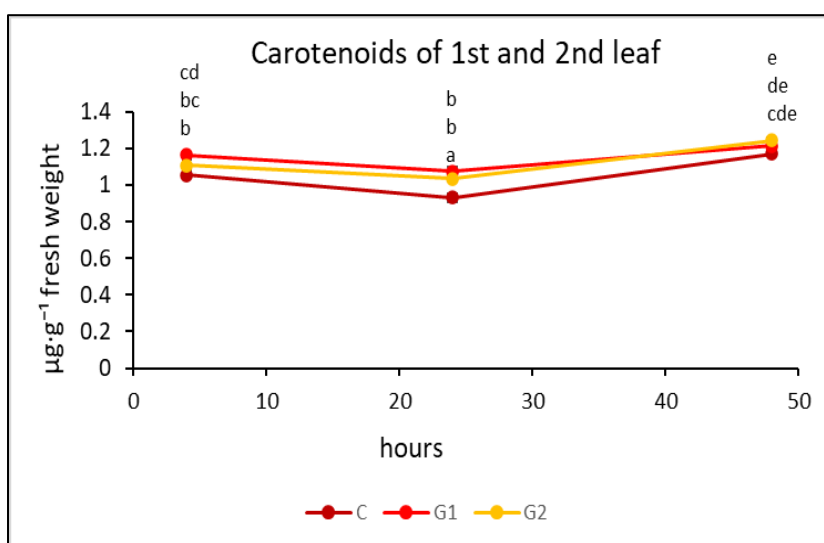


Fig. 4: Concentration of carotenoids in the first and second leaves of maize over a 48-hour period. C – control, G1 – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola, G2 – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide. The values represent means $\pm$ standard error. Different letters denote statistically significant differences between the variants at $p < 0.05$.

Regarding carotenoid concentration in the third leaf, no statistically significant changes were found after four hours. After 24 hours, increases of 19.8% in the G1 treatment and 27.7% in the G2 treatment were detected compared to the control. After 48 hours, a 34% increase in

the G1 treatment and a 14.6% increase in the G2 treatment were recorded compared to the control (Fig 5).

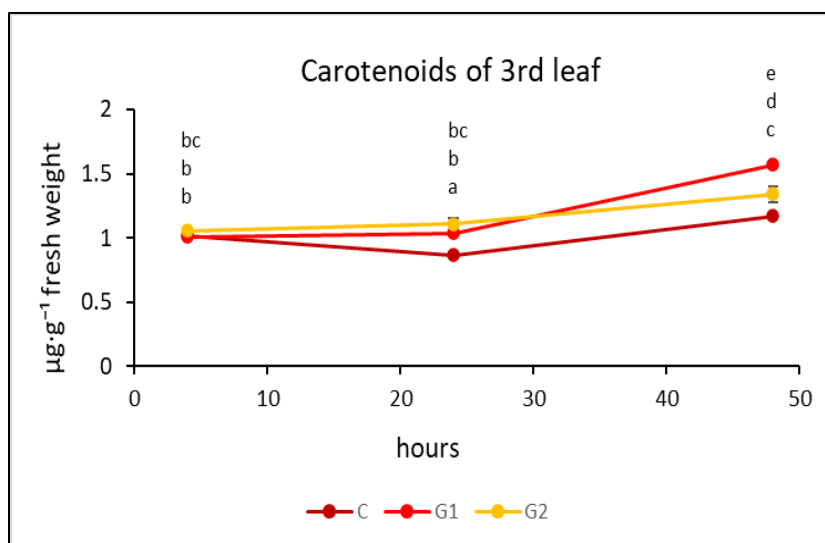


Fig. 5: Concentration of carotenoids in the third leaf of maize over a 48-hour period. C – control, G1 – maize treated with the recommended dose of the pesticide Gondola, G2 – maize treated with twice of the recommended dose of the pesticide. The values represent means $\pm$ standard error. Different letters denote statistically significant differences between the variants at $p < 0.05$.

CONCLUSION

Application of the pesticide Gondola, with the active ingredient sulfoxaflor, induces oxidative stress in maize leaves, as indicated by an increase in the activity of the enzyme superoxide dismutase (SOD), which is involved in the removal of reactive oxygen species. Slight changes in carotenoid concentration were determined; however, their increase, together with the elevated SOD activity, reflects the activation of the maize antioxidant system in response to the applied pesticide. This response occurred even at the recommended pesticide dose, although in the case of SOD, the change was less significant.

LITERATÚRA

- /1/Willekens H, Chamnongpol S, Davey M, Schraudner M, Langebartels C, Van Montagu M, Inzé D, Van Camp W. 1997. Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C₃ plants. The EMBO Journal 16, 4806–4816.
- /2/Gill SS, Tuteja N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48, 909–930.
- /3/Shakir SK, Irfan S, Akhtar B, Rehman SU, Daud MK, Taimur N, Azizullah A. 2018. Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. Ecotoxicology 27, 919–935.
- /4/Al Naggari Y, Singavarapu B, Paxton RJ, Wubet T. 2022. Bees under interactive stressors: the novel insecticides flupyradifurone and sulfoxaflor along with the fungicide azoxystrobin disrupt the gut microbiota of honey bees and increase opportunistic bacterial pathogens. Science of The Total Environment 849, 157941.
- /5/Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72, 248–254.
- /6/Madamanchi NR, Donahue JL, Cramer CL, Alschner RG, Pedersen K. 1994. Differential response of Cu,Zn superoxide dismutases in two pea cultivars during a short-term exposure to sulfur dioxide. Plant Molecular Biology 26, 95–103.
- /7/R Core Team (2020) R A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. - References - Scientific Research Publishing.

- /8/Lei M, Raza I, Deebea F, et al. 2020. Pesticide-Induced Physiological, Metabolic and Ultramorphological Alterations in Leaves of Young Maize Seedlings. Polish Journal of Environmental Studies 29, 2247–2258. <https://scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3064798>. Accessed August 2025.
- /9/Sule RO, Condon L, Gomes AV. 2022. A Common Feature of Pesticides: Oxidative Stress—The Role of Oxidative Stress in Pesticide-Induced Toxicity. Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2022, 5563759.

Acknowledgements

This work was funded by the COST action grant CA21134 - Towards zero Pesticide AGRiculture : European Network for sustainability (TOP-AGRI-Network).

POTENCIÁLNE VYUŽITIE KOSTRAVY ČERVENEJ (*Festuca rubra* L.) NA FYTOREMEDIÁCIU KADMIOM KONTAMINOVANÉHO ÚZEMIA

POTENTIAL USE OF THE RED FESCUE (*Festuca rubra* L.) FOR PHYTOREMEDIATION OF CADMIUM-CONTAMINATED LAND

Laura Mocsonokyová, Marianna Molnárová, Agáta Fargašová

Katedra environmentálnej ekológie a manažmentu krajiny, Prírodovedecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina B2, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava,
Slovenská republika; mocsonokyova1@uniba.sk, marianna.molnarova@uniba.sk,
agata.fargasova@uniba.sk

Summary

Due to increased anthropogenic activity, cadmium is entering the environment at elevated levels and poses a risk to biota. One inexpensive and environmentally acceptable method of decontaminating such environments is to use plants from the *Poaceae* family, which are hyperaccumulators of certain metals. One representative of this family is *F. rubra*, which has not yet been studied in terms of its use in the case of Cd alone, only in mixtures with other metals. In our research, we observed the accumulation of Cd not only in the roots but also in the above-ground parts, with a statistically insignificant decrease in all monitored photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total carotenoids) and protein thiol (-SH) groups with increasing Cd concentration. Given these results, *F. rubra* is a suitable candidate for the remediation of Cd-contaminated environments.

Key words: phytotoxicity, potential toxic metals, bioaccumulation, photosynthetic pigments, protein thiol groups

Súhrn

Kvôli zvýšenej antropogénnej činnosti sa do životného prostredia dostáva kadmium vo zvýšenej miere a predstavuje riziko pre biotu. Jednou z lacných a environmentálne prijateľných spôsobov dekontaminácie takéhoto prostredia je vyžitie rastlín z čeľade *Poaceae*, ktoré sú hyperakumulátormi pre niektoré kovy. Jedným zo zástupcov tejto čeľade je *F. rubra*, ktorá zatiaľ nebola študovaná z pohľadu jej využitia v prípade samotného Cd, iba v zmesiach s ďalšími kovmi. Z nášho výskumu sme pozorovali akumuláciu Cd nielen v koreňoch, ale aj v nadzemných častiach, pričom dochádzalo k štatisticky nie významnému poklesu všetkých sledovaných fotosyntetických pigmentov (chlorofylu *a*, chlorofylu *b*, celkových karotenoidov) a proteínových tiolových (-SH) skupín s rastúcou Cd koncentráciou. Vzhľadom k týmto výsledkom je *F. rubra* vhodným kandidátom na remediáciu Cd kontaminovaného prostredia.

Kľúčové slová: fytotoxikika, potenciálne toxické kovy, bioakumulácia, fotosyntetické pigmenty, proteínové tiolové skupiny

ÚVOD

Kadmium (Cd) je vysoko toxický kov, nachádzajúci sa najmä v batériách, elektronike, galvanických pokovaniach, pigmentoch, ropných produktoch, textíliách, insekticídach a

syntetických chemikáliách. Znečistenie Cd je bežné v blízkosti priemyselných lokalít, predovšetkým však takých, kde sa spracovávajú neželezné kovy. Minerálne fosfátové hnojivá tiež významne prispievajú ku kontaminácii Cd, tiež niektoré organické hnojivá (napr. kaly z čističiek odpadových vôd, hnoj, kompost, biologický odpad), ktoré môžu pri nesprávnom zaobchádzaní vnášať ťažké kovy do pôdy /1/. Príjem Cd do rastlín je sprostredkovaný zinkovými transmembránovými proteínmi (ZIP-proteíny) a YSL proteínmi („Yellow Stripe-Like“) /2,3/. Medzi príznaky toxicity Cd patrí obmedzená rýchlosť fotosyntézy ako dôsledok poškodenia chloroplastov, nižšia produkcia biomasy, hnednutie koreňových vláskov a špičiek, znížený príjem a transport dusičnanov a pod. /4,5/.

Kostrava červená (*Festuca rubra*) z čeľade Poaceae je trvalka, rastúca na veľmi rozmanitých biotopoch v miernom pásme Európy, severnej Afriky, Ázie a Severnej Amerike /6,7/. Má rozvetvený koreňový systém, rýchlo rastie, znáša sucho aj vysoké teploty, vysokú salinitu aj pôdy chudobné na živiny, kolonizuje opustené bane a často rastie v blízkosti ciest či železničných tratí /8/. Prasad a Freitas /9/ ju zaradili medzi rastliny tolerantné voči ťažkým kovom (napr. As) a vhodné na fytoremediáciu. Podľa našich znalostí sa zatiaľ nerobil výskum akumulácie Cd v tejto rastline, aj keď sú publikované články, kde sa sledovala akumulácia Cd z kultivačného média (pôda, roztok), v ktorom sa nachádzali viaceré druhy kovov. Preto sme sa zamerali na vplyv Cd na fotosyntetické pigmenty, proteínové tiolové skupiny ako ukazovateľ úrovne oxidácie proteínov (napr. v prípade zvýšenej úrovne oxidačného stresu, ktorú Cd môže nepriamo vyvolávať) a akumuláciu Cd v koreňoch a nadzemných častiach s cieľom posúdiť, či by táto rastlina bola vhodná na remediácie prostredia kontaminovaného Cd.

MATERIÁL A METÓDA

Semená kostravy červenej (*Festuca rubra* L., cv. Petruna) sme získali z firmy Agrostis Trávníky, s.r.o. (Česká republika). Chemikálie sme použili v p.a. čistote, pričom $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ pochádzalo z firmy Lachema (Česká republika, citrát železitý z Fluky (Nemecko) 5,5'-ditiobis-(2-nitrobenzoová kyselina) bola zo Sigma-Aldrich (DTNB, USA) a všetky ostatné chemikálie boli z Lachemy (Česká republika).

Postupovali sme podľa štandardizovaných noriem OECD a STN /10-12/. Semená sme nasiali na vrstvu papierovej vaty a filtračného papiera, ktoré boli nasiaknuté 24 ml $\frac{1}{2}$ Hoaglandovho živného roztoku, pričom do každého vertikálneho plastového kontajnera Phytotoxkit® (MicroBioTests Inc., Belgicko) s veľkosťou 21,0 x 15,5 cm sme dali po 12 semien. Prvých 7 dní klíčili semená v tme pri 25 ± 1 °C v termostate iba v $\frac{1}{2}$ Hoaglandovom kultivačnom roztoku /13/ v zložení ($\mu\text{mol/l}$): 0,099 KH_2PO_4 ; 1,248 KNO_3 ; 1,799 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1,022 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,061 citrát železitý; 11,564 H_3BO_3 ; 2,286 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,191 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,080 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,018 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ s výslednou hodnotou pH $6,00 \pm 0,30$. Na siedmy deň sme zmerali dĺžku koreňov a výhonkov a semenáčky premiestnili do kontajnerov s testovanými koncentráciami kadmia v čerstvom $\frac{1}{2}$ Hoaglandovom roztoku. Kultivácia prebiehala za rovnakých podmienok v tme pri konštantnej teplote v termostate. Na tretí deň rastu v prítomnosti Cd, ktorý predstavoval 10. deň rastu semenáčikov, sme opäť zmerali dĺžky koreňov a výhonkov a vyjadrili zmeny dĺžky ich rastu oproti 7. dňu ako *relatívnu dĺžku*. Kadmium sa testovalo pri koncentráciách od 43,79 $\mu\text{mol/l}$ (4,92 mg Cd/l) do 4379,43 $\mu\text{mol/l}$ (492,3 mg Cd/l). Na 10. deň sa kontajnery vybrali z termostatu a umiestnili pri teplote

25±1 °C pod lampy s intenzitou osvetlenia 10 900 lx a svetelnom režime deň/noc 16/8 h. Každá koncentrácia bola testovaná aspoň v dvoch paralelných meraniach dvoch nezávislých pokusov. Na 14. deň sme v nadzemnej časti stanovili obsah fotosyntetických pigmentov podľa Lichtenthalera a Wellburna /14/ a proteínových tiolových skupín v etanolovom homogenáte /15,16/. Detailný postup je uvedený v publikácii Molnárová a Fargašová /17/, pričom na zarobenie 0,5 % (w/v) homogenátu v 96 %-nom denaturovanom liehu sme navázili minimálne 10 mg čerstvej biomasy nadzemnej časti kostravy červenej.

Na konci pokusu sa keramickým nožom oddelili korene od nadzemnej časti a vysušili sa v sušiarňi pri 55 °C. Minimálne 11 mg sušiny sa nechalo mineralizovať cez noc v 5 ml koncentrovanej HNO₃:H₂O₂ (4:1) pri laboratórnej teplote. Na ďalší deň sa vzorka mineralizovala pri 180 °C 1 hod v autoklávoch ZA-1 (ČR) /17/. Po ochladení sa zmes doplnila na 25 ml destilovanou vodou a obsah kovov sa elektrochemicky stanovil na prístroji EcaFlow 150 GLP (Istran, SR). Získané hodnoty sú prepočítané na g sušiny. Táto metóda je porovnateľná s metódou AAS /18/. Štandardné roztoky a elektrolyty pochádzali z firmy Istran (SR), ostatné chemikálie s analytickou čistotou (p.a.) z firmy centralCHEM (SR) – HCl a z ITESu Vranov, s.r.o. (SR) - HNO₃ a H₂O₂.

Výsledky sme vyhodnotili graficky aj štatisticky v programe MS Excel 365 (Microsoft, USA). V grafoch sú uvedené aritmetické priemery spolu s ich štandardnými chybami priemeru (SEM) alebo štandardnými odchýlkami (SD). Probitová analýza na výpočet hodnoty IC₅₀ bola urobená v programe MS Excel s využitím vložených vzorcov /11/. Výsledky boli následne štatisticky vyhodnotené jednosmernou analýzou ANOVA, na overenie údajov sa použil Shapiro-Wilkov test normality, a rovnosti variancií Levenov test. Následne sa podľa toho použil Tukeyho *post-hoc* test. Tieto výpočty sme urobili v programe Jamovi, v. 2.3.18 (Holandsko, www.jamovi.org). Štatistická významnosť oproti kontrolnej vzorke bola vyhodnocovaná na úrovni *p<0,05; **p<0,01 a ***p<0,001.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V tab. 1 sú vypočítané hodnoty IC₅₀ pre rast koreňov a nadzemnej časti *F. rubra*. Z našich výsledkov vyplýva, že Cd je toxickéjšie pre koreň, ale pri nadzemnej časti sme nedokázali vypočítať túto hodnotu preto, že ani pri najvyššej testovanej koncentrácii sme nedostali inhibíciu rastu vyššiu ako 50 %, čo je pre výpočet pri probitovej analýze kľúčové.

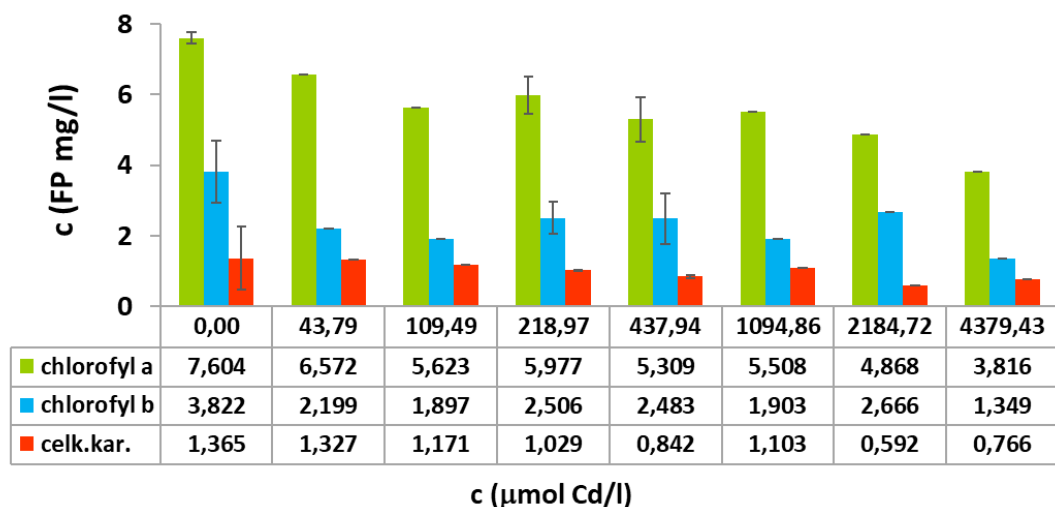
Tab. 1: Inhibičná koncentrácia IC₅₀ spolu s 95 %-nými intervalmi spoľahlivosti CI („confidence interval“) pre rast koreňov a výhonkov *F. rubra*, ktoré rástli v prítomnosti Cd. Legenda: LCI = dolný interval spoľahlivosti, UCI = horný interval spoľahlivosti.

IC ₅₀ (μmol/l) (LCI-UCI)	koreň	nadzemná časť
Cd	40,84 (16,37-101,88)	- *

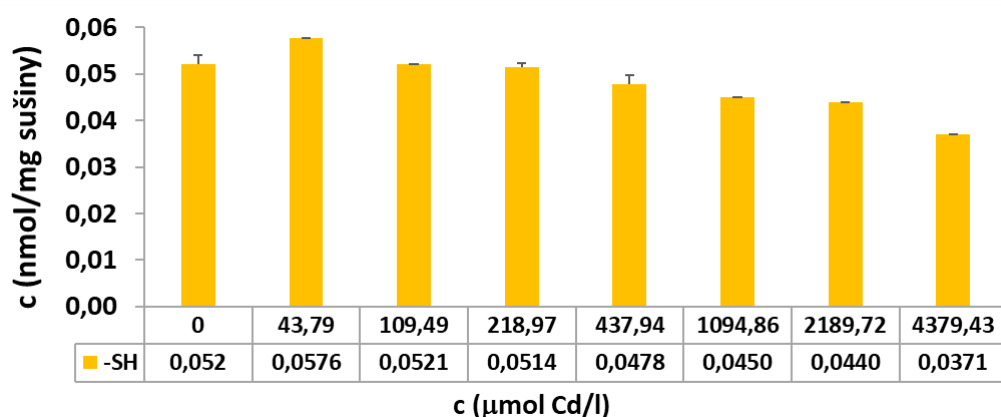
* pri najvyššej testovanej koncentrácii 4379,43 μmol/l bola vypočítaná iba 47,1 % inhibícia a preto sa IC₅₀ nedala vypočítať pre Cd

Na obr. 1 sú uvedené koncentrácie fotosyntetických pigmentov (FP). Z výsledkov môžeme vidieť, že so zvyšujúcou sa koncentráciou Cd sa koncentrácia oboch chlorofylov ako aj celkových karotenoidov znižovala, ale tieto hodnoty sa nepreukázali štatisticky významné.

Podobne aj v prípade proteínových tiolových skupín sme pozorovali tento trend bez štatistickej významnosti pri žiadnej sledovanej koncentrácii Cd (obr. 2).



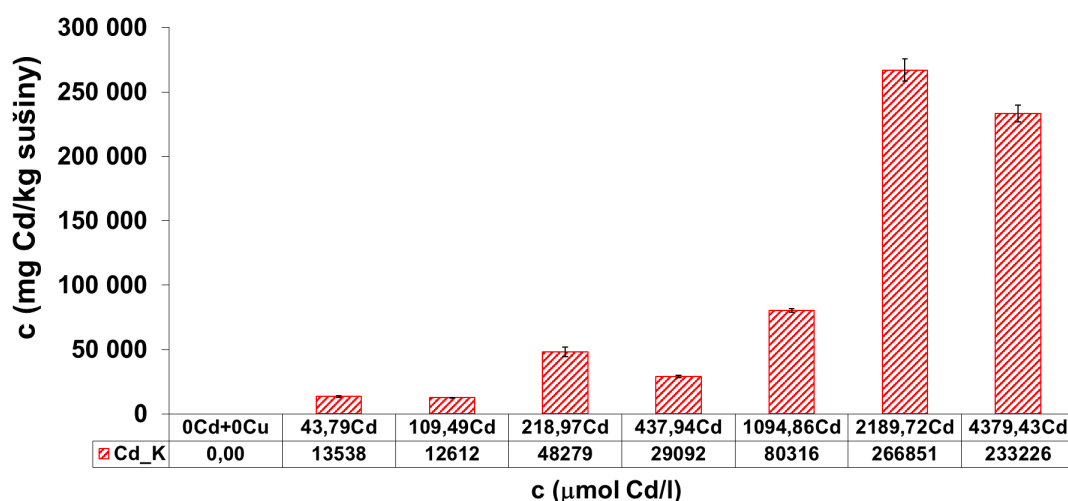
Obr. 1: Koncentrácia fotosyntetických pigmentov (FP) v listoch 14-dňových semenáčikov *F. rubra*, ktoré rástli v prítomnosti Cd. Hodnoty predstavujú aritmetický priemer $\pm$ štandardná chyba priemeru (SEM), $n \geq 2$. Hodnoty boli štatisticky vyhodnotené jednosmernou ANOVA s post-hoc testom Tukey na úrovni $*p < 0,05$. Legenda: c = koncentrácia; celk.kar. = celkové karotenoidy.



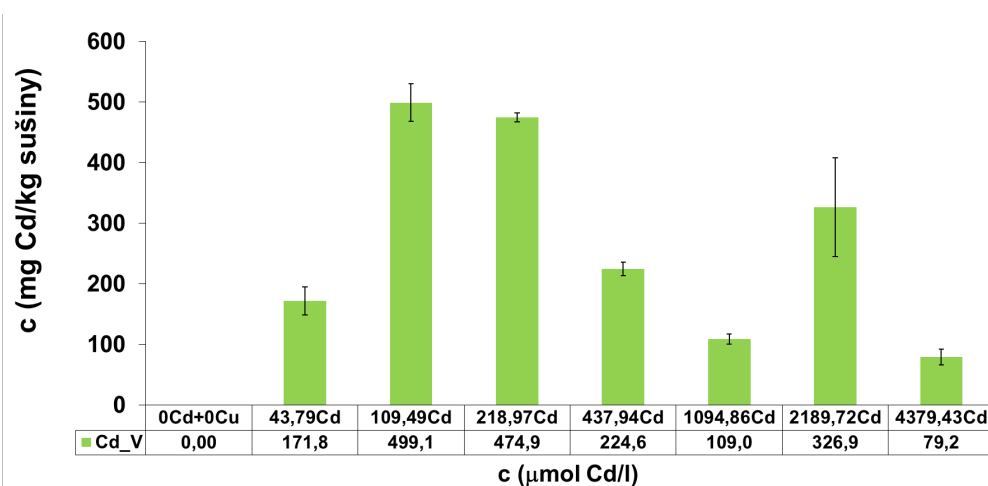
Obr. 2: Koncentrácia proteínových tiolových skupín (-SH) v listoch 14-dňových semenáčikov *F. rubra*, ktoré rástli v prítomnosti Cd. Hodnoty predstavujú aritmetický priemer $\pm$ štandardná chyba priemeru (SEM), $n \geq 2$. Hodnoty boli štatisticky vyhodnotené jednosmernou ANOVA s post-hoc testom Tukey na úrovni $*p < 0,05$. Legenda: c = koncentrácia.

Na obr. 3 a 4 sú znázornené koncentrácie Cd v koreňoch a nadzemnej časti *F. rubra*. Kým pri koreňoch bol trend akumulácie Cd priamo úmerný (obr. 3), pri nadzemnej časti sme potvrdili najvyššiu koncentráciu Cd pri koncentráciách 109,49 $\mu\text{mol/l}$ (obr. 4). Pusz et al. namerali vo *F. rubra* kultivovanej na pôde so zvýšeným obsahom Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn koncentráciu Cd v koreni 1,74 mg/kg sušiny, pričom v pôde sa nachádzalo 12,8 mg Cd/kg sušiny pôdy /19/. V našich pokusoch sme ako najnižšiu koncentráciu Cd mali 43,79 $\mu\text{mol/l}$ (obr. 3), čo zodpovedá 4,92 mg Cd/l. Pri tejto koncentrácii v hydroponickom systéme sme namerali 13 538 mg Cd/kg sušiny koreňa, čo je 7780-násobne viac, ako namerali Pusz et al. /19/. Vo výhonkoch títo autori namerali porovnateľnú koncentráciu Cd (1,65 mg/kg sušiny výhonkov) /19/, kým v našich podmienkach na obr. 4 sme pri najnižšej testovanej koncentrácii zistili oproti koreňom 78,7-

násobne nižšiu koncentráciu Cd (171,81 mg/kg sušiny nadzemnej časti). Aj v ich experimentoch *F. rubra* prejavila vyššiu akumuláciu Cd v rastline, kým ostatné prvky sa akumulovali v nasledovnom zostupnom poradí: Cd>Zn>Ni>Cu>Pb /19/. Wyszowska et al. /20/ sa zamerali na využitie *F. rubra* na fytostabilizáciu pôdy kontaminovanej Cd, Co a Ni, ktoré narúšajú mikrobiologické a biochemické vlastnosti pôdy. Sledovali pôdu, ktorá bola prihnojovaná kompostom a pôdu bez využitia kompostu. Vo svojom výskume zistili, že biomasa pozbieraná z kovmi znečistenej pôdy, môže byť využitá na energetické účely, pretože tieto kovy neovplyvnili stabilnú výhrevnosť biomasy. Zároveň konštatujú, že čiastočne môže byť *F. rubra* využiteľná pri fytostabilizácii pôd kontaminovaných kadmiumom a kobaltom, pričom kompost znížil nepriaznivé účinky ťažkých kovov na mikrobiologické, biochemické a fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy. Tieto pozorovania sú dôležité preto aj z pohľadu nakladania biomasy *F. rubra* po zbere z kontaminovanej oblasti a jej ďalšieho spracovania ako nebezpečného odpadu vzhľadom na obsah potenciálne toxických prvkov, ktorým kadmium dokázateľne je.



Obr. 3: Koncentrácia Cd v koreňoch *F. rubra*. Hodnoty predstavujú aritmetický priemer $\pm$ štandardná odchýlka (SD), $n = 3$. Legenda: c = koncentrácia; K = koreň.



Obr. 4: Koncentrácia Cd v nadzemnej časti *F. rubra*. Hodnoty predstavujú aritmetický priemer $\pm$ štandardná odchýlka (SD), $n = 3$. Legenda: c = koncentrácia, V = výhonok, nadzemná časť.

ZÁVER

Vhodným hyperakumulátorom je taká rastlina, ktorá bioakumuluje potenciálne toxické prvky (ťažké kovy), v nadzemnej časti rastliny, aby sa potom dala táto časť ľahko pozbierať a prípadne ďalej zužitkovať, ak sa vyvinú postupy na znovuvyužitie Cd v nej. To sa potvrdilo aj v našej zvolenej rastline *F. rubra*, ktorá je navyše schopná rásť aj v pomerne náročných podmienkach takmer na celom svete. V laboratórnych podmienkach sme nepotvrdili toxický účinok na rast kostravy červenej a aj keď dochádzalo k poklesu fotosyntetických pigmentov a pokles proteínových tiolových skupín naznačoval zvýšený oxidačný stres v listoch, tieto zmeny neboli štatisticky významné. Preto navrhujeme zväziť využitie tejto rastliny ako doplnkovej pri fytoremediáciách kontaminovaných pôd, či vôd (napr. vo forme plávajúcich ostrovčekov).

LITERATÚRA

- /1/ Vardhan, K.H., Kumar, P.S., Panda, R.C.: A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 290, 2019: 111197.
- /2/ Lux, A., Martinka, M., Vaculík, M., White, P.J.: Root responded to cadmium in the rhizosphere: A review. *Journal of Experimental Botany*, 62, 2011: 21-37.
- /3/ Clemons, S., Ma, J.F.: Toxic heavy metal and metalloid accumulation in crop plants and foods. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 2016: 489-512.
- /4/ Sanita di Toppi, L., Gabbriellini, R.: Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41, 1999: 105-130.
- /5/ Ningombam, L., Hazarika, B.N., Yumkhaibam, T., Heisnam, P., Singh, Y.D.: Heavy metal priming plant stress tolerance deciphering through physiological, biochemical, molecular and omics mechanism. *South African Journal of Botany*, 168, 2024: 16-25.
- /6/ Gajić, M.: *Festuca* L. In: Josifović, M. (Ed.): *Flora of SR Serbia*, 8, 1976: 415-442. [v srbčine]
- /7/ Casler, M.D., Duncan, R.R.: *Turfgrass Biology, Genetics, and Breeding*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada, 2003, 139 s. Dostupné na: <https://books.google.sk/books?id=L7kn1-aoXLIC>
- /8/ Smoliak, S., Penney, D., Harper, A.M., Horricks, J.S.: *Alberta Forage Manual*. Edmonton, AB: Alberta Agriculture, Print Media Branch, 1981, 50-78.
- /9/ Prasad, M.N.V., Freitas, H.: Metal-tolerant plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. In: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. (Eds.): *Trace Elements in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation)*. CRC, Taylor & Francis, Boca Raton, 2006, 483-506.
- /10/ OECD: Guidelines for the testing of chemicals. Terrestrial plant test: Seedling emergence and seedling growth test, Test 208, 2006, OECD, Paris.
- /11/ STN 83 8303: Skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekotoxická. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 1999 (ICS 13.060.40, MDT 628.472)
- /12/ Mocsonokiová, L., Molnárová, M.: Fytotoxicita medi na kostravu červenú (*Festuca rubra* L.) z čeľade *Poaceae*. Študentská vedecká konferencia PriF UK 2025. Zborník recenzovaných príspevkov. Bratislava: ŠVK PRIF UK, 2025, s. 989-994. Dostupné na: <https://fns.uniba.sk/studium-old/svk/zborniky-svk/>, cit. 14.8.2025.
- /13/ Hoagland, D.R., Arnon, D.I.: The water-culture method for growing plants without soil. *Circular*. California Agricultural Experiment Station, 347, 1950: 32 s.
- /14/ Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R.: Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 1983: 591-592.
- /15/ Viner, R.I., Krainev, A.G., Williams, T.D., Schoneich, C., Bigelow, D.J.: Identification of oxidation sensitive peptides within the cytoplasmic domain in the sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} -ATPase. *Biochemistry*, 36, 1997: 7706-7716.
- /16/ Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres, V., Featherstone, R.M.: A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, 7, 1961: 88-90.
- /17/ Molnárová, M., Fargašová, A.: Relationship between various physiological and biochemical parameters activated by cadmium in *Sinapis alba* L. and *Hordeum vulgare* L. *Ecological Engineering*, 49, 2012: 65-72.
- /18/ Beinrohr, E.: Prietokové elektroanalytické metódy v praxi. 2 THETA: Český Těšín, ČR, 2013, 112 s.
- /19/ Pusz, A., Wiśniewska, M., Rogalski, D.: Assessment of the accumulation ability of *Festuca rubra* L. and *Alyssum saxatile* L. tested on soils contaminated with Zn, Cd, Ni, Pb, Cr, and Cu. *Resources*, 10, 2021: 46.

/20/ Wyszowska, J., Boros-Lajszner, E., Kucharski, J.: Calorific value of *Festuca rubra* biomass in the phytostabilization of soil contaminated with nickel, cobalt and cadmium which disrupt the microbiological and biochemical properties of soil. *Energies*, 15, 2022: 3445.

Pod'akovanie

Uvedená práca bola podporená grantom VEGA 1/0255/23.

PRODUKCIA BIOMETÁNU Z ĎATELINOTRÁVNÝCH MIEŠANIEK PO APLIKÁCII DIGESTÁTU

BIOMETHANE PRODUCTION FROM GRASS-CLOVER MIXTURES AFTER DIGESTATE APPLICATION

Vladimíra Vargová, Mariana Jančová, Miriam Kizeková

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – VÚRV – Ústav trávnych
porastov a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36, 974 21 Banská
Bystrica, vladimira.vargova@nppc.sk

Summary

The aim of the experiment established in the Zvolen Basin was to evaluate the biomethane energy yield and dry matter yield of meadow and silage mixtures fertilized with digestate at a dose of 45 and 90 kg N.ha⁻¹. Compared to the unfertilized control, the application of digestate at a dose of 90 kg N.ha⁻¹ significantly ($P < 0.05$) increased dry matter yield by 30.60% and the biomethane energy yield by 22.00%. On the contrary, the application of digestate at a dose of 45 kg N.ha⁻¹ had no significant effect on the dry matter yield and biomethane energy yield of grasslands. Out of the grass-clover mixtures, the meadow mixture for wet conditions revealed the highest biomethane energy yield (39.68 GJ.ha⁻¹) and dry matter yield (7.50 t.ha⁻¹) as well.

Keywords: clover-grass mixtures, digestate, fertilization, dry mater yield, biomethane energy yield

Súhrn

Cieľom experimentu založeného v Zvolenskej kotline bolo hodnotenie energetickej výťažnosti biometánu a produkcie sušiny lúčnych a silážnych miešaniek hnojených digestátom v dávke 45 a 90 kg N.ha⁻¹. V porovnaní s nehnojeným kontrolným variantom, aplikácia digestátu s dávkou 90 kg N.ha⁻¹ preukazne ($P < 0,05$) zvýšila produkciu sušiny o 30,60 % a energetickú výťažnosť biometánu o 22,00 %. Naopak aplikácia digestátu s dávkou 45 kg N.ha⁻¹ nemala významný vplyv na úrodu sušiny a energetickú výťažnosť biometánu trávnych porastov. Z ďatelinotravných miešaniek, preukazne najvyššiu energetickú výťažnosť metánu (39,68 GJ.ha⁻¹) a produkciu sušiny (7,50 t.ha⁻¹) mala lúčna miešanka do vlhka.

Kľúčové slová: ďatelinotravná miešanka, digestát, hnojenie, produkcia sušiny, výťažnosť biometánu

ÚVOD

Trávny porast má schopnosť fungovať v uzavretom kolobehu organickej hmoty, energie, minerálnych látok a vody za pomoci abiotických činiteľov prostredia, ale aj pravidelného využívania človekom /1, 14/. V posledných rokoch sa čoraz viac diskutuje o alternatívnom využití trvalých trávnatých porastov ako zdroja biomasy na výrobu bioenergie, najmä na spaľovanie ako tuhého biopaliva alebo ako suroviny na anaeróbnú digestciu /6/. Vhodnosť biomasy z trávnatých porastov na výrobu bioplynu bola preukázaná v niekoľkých štúdiách /13,

15/. Potenciál produkcie metánu tráv je podstatne ovplyvnený intenzitou obhospodarovania, najmä frekvenciou a obdobím kosenia /3, 9/. Výťažnosť metánu je nižšia pri systémoch s jedným kosením v porovnaní so systémami s vyššou frekvenciou kosenia /9/ a potenciál produkcie metánu klesá s neskoršími dátumami zberu /10, 11, 5/.

Cieľom príspevku bolo zhodnotiť produkciu biometánu z d'atelinotravných miešaniek hnojených rôznymi dávkami digestátu.

MATERIÁL A METÓDY

Dvojočný pokus bol založený na poloprírodnom trávnom poraste v lokalite Zvolenská Slatina, v nadmorskej výške 320 m. Dlhodobé priemerné zrážky za rok sú 610 mm s priemernou teplotou vzduchu za rok 7,8 °C. Pôdny typ je kambizem, pôdny druh hlinitý až hlinito piesočnatý. Pôdna reakcia pôvodného stanovišťa bola kyslá (pH 4,76), s obsahom celkového dusíka na úrovni 3,46 g.kg⁻¹. Zásoba fosforu v pôde bola nízka s hodnotou 10,54 mg.kg⁻¹, draslíka 114,35 mg.kg⁻¹, zásoba horčíka bola veľmi vysoká (607,66 mg.kg⁻¹) a pomer C: N bol 7,13. Experiment bol založený metódou dlhých pásov. Pozostával z pôvodného porastu (variant 1), z dvoch typov miešaniek pre lúčne využitie (varianty 2, 3) a dvoch typov miešaniek pre silážne využitie (varianty 4, 5). Zloženie jednotlivých miešaniek je uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1: Varianty pokusu a zloženie miešaniek

Variant/ Miešanka	Zloženie miešanky	výsevok (kg.ha ⁻¹)
1. Pôvodný porast	<i>Arrhenatherum elatius</i> (26 %), <i>Avenula pubescens</i> (21 %), <i>Festuca rubra</i> (8 %), <i>Festuca arundinacea</i> (6 %), <i>Trifolium repens</i> L. (2 %)	-
2. Lúčna miešanka do vlhka	<i>Festulolium festuca</i> type <i>Festulolium braunii</i> (12 %), <i>Festuca arundinacea</i> (21 %), <i>Lolium multiflorum</i> (6 %), <i>Alopecurus pratensis</i> (10 %), <i>Phleum pratense</i> (15 %), <i>Festuca pratensis</i> (10 %), <i>Poa pratensis</i> (5 %), <i>Poa palustris</i> (5 %), <i>Trifolium pratense</i> (13 %), <i>Trifolium hybridum</i> (3 %)	35
3. Lúčna miešanka do sucha	<i>Festulolium festuca</i> type <i>Festulolium braunii</i> (20 %), <i>Festuca arundinacea</i> (19 %), <i>Lolium multiflorum</i> (5 %), <i>Arrhenatherum elatius</i> (22 %), <i>Festuca rubra</i> (8 %), <i>Poa pratensis</i> (8 %), <i>Trifolium pratense</i> (13 %), <i>Trifolium repens</i> (5 %)	35
4. Dočasná intenzívna d'atelinotravná	<i>Festulolium festuca</i> type <i>Festulolium braunii</i> (28 %), <i>Lolium multiflorum</i> (10 %), <i>Phleum pratense</i> (10 %), <i>Festuca pratensis</i> (10 %), <i>Poa pratensis</i> (6 %), <i>Trifolium pratense</i> (30 %), <i>Trifolium repens</i> (6 %)	40
5. Dočasná silážna miešanka	<i>Festuca arundinacea</i> (30 %), <i>Festulolium lolium</i> type <i>Festulolium loliaceum</i> (50 %), <i>Lolium multiflorum</i> (16 %), <i>Trifolium hybridum</i> (4 %)	40

Plocha každého variantu bola rozdelená na tri časti, z nich jedna tretina zostala bez hnojenia a zvyšné dve tretiny boli na jar hnojené digestátom, jedna tretina dávkou 45 kg N.ha⁻¹ č.ž. a druhá dávkou 90 kg N.ha⁻¹ č.ž. za pomoci hadicového aplikátora. Porasty sa využívali tromi kosbami. Pred každou kosbou boli odobraté priemerné vzorky nadzemnej fytomasy s hmotnosťou približne 500 gramov na stanovenie produkcie sušiny podľa STN 47

7007. Výťažnosť biometánu bola vypočítaná podľa vzťahu: $V = \text{Úroda sušiny} \times \text{špecifická výťažnosť trávnej fytohmoty} \times 37 / 1000$. Kde V je výťažnosť biometánu, ($\text{GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$); úroda sušiny ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$); špecifická výťažnosť trávnej fytohmoty ($\text{I}_N \cdot \text{kg}^{-1}$ ODS); 37 je výhrevnosť metánu ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$) pri 293,15 K a 1 atm /8/. Získané výsledky boli spracované štatistickou metódou analýzy variácie ANOVA prostredníctvom Tukeyovho testu na hladine významnosti 0,05. Analýzy boli vykonané použitím programu STATGRAPHIC Centurion XVI.I.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Nehnojený pôvodný porast (variant 1) bol charakteristický najnižšou produkciou sušiny ($4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Všetky nehnojené silážne miešanky dosiahli produkciu sušiny nad $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dočasná intenzívna miešanka zabezpečila maximálnu produkciu sušiny $6,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 2). Varianty s lúčnymi miešankami mali produkciu sušiny na úrovni 4,8 až $5,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, pričom najlepšie sa prejavila lúčna miešanka s 18 %-ným podielom leguminóz (variant 3). Na všetkých variantoch hnojených digestátom v dávke $45 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bola evidovaná vyššia produkcia sušiny. Výrazné zvýšenie vplyvom aplikácie digestátu bolo predovšetkým pri lúčnych miešankách. Variabilita nárastu úrody pri stúpajúcich dávkach dusíka bola zaznamenaná aj v iných prácach /2/. Variant s lúčnou miešankou do vlhka (variant 2) dosiahol produkciu sušiny až $9,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v priebehu roka. Pri porovnaní s jeho nehnojeným variantom, je to zvýšenie až o $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Rozdiely v produkcii sušiny sa zistili aj pri silážnych miešankách. Tieto miešanky zabezpečili úrodu sušiny od $5,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ do $6,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (dočasná intenzívna). Pri porovnaní s nehnojenými variantami bol zistený pokles produkcie sušiny na variante s dočasnou silážnou miešankou (variant 5). Pôvodný porast opäť dosiahol produkciu na úrovni $4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, tak rovnako ako porast nehnojený.

Tab. 2: Produkcia sušiny ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)

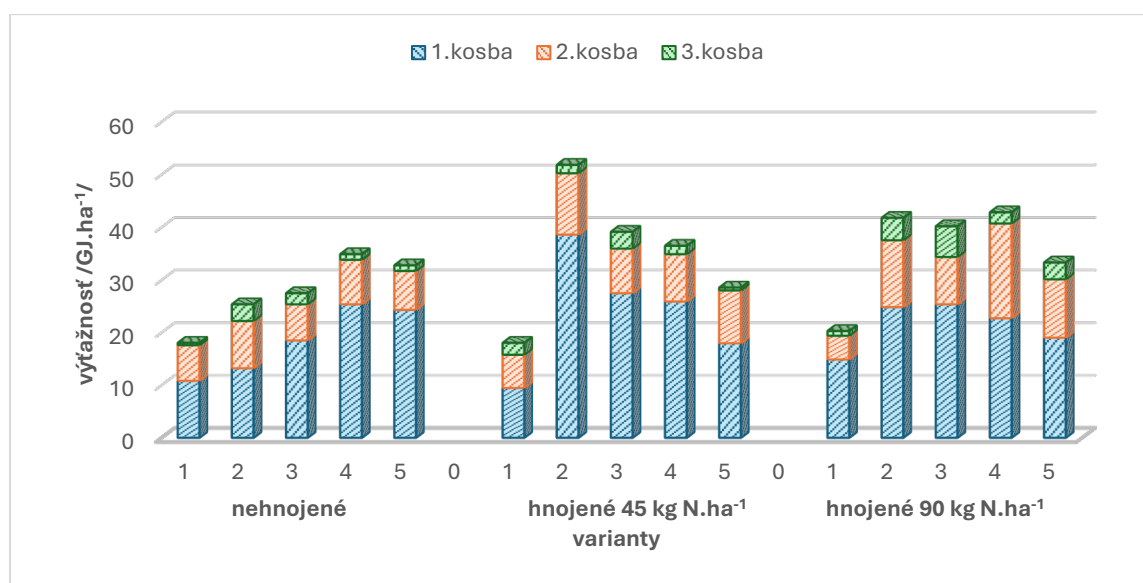
Kosba	Pôvodný porast	Lúčne miešanky		Silážne miešanky	
	1	2	3	4	5
Nehnojené varianty					
1.	2,4	2,5	3,5	4,8	4,6
2.	1,5	1,7	1,3	1,6	1,4
3.	0,1	0,6	0,4	0,2	0,2
Σ	4,0	4,8	5,2	6,6	6,2
Hnojenie digestátom $45 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$					
1.	2,1	7,3	5,2	4,9	3,4
2.	1,4	2,2	1,6	1,7	1,9
3.	0,5	0,3	0,6	0,3	0,1
Σ	4,0	9,8	7,4	6,9	5,4
Hnojenie digestátom $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$					
1.	3,3	4,7	4,8	4,3	3,6
2.	1,0	2,4	1,7	3,4	2,1
3.	0,2	0,8	1,1	0,4	0,6
Σ	4,5	7,9	7,6	8,1	6,3

Porasty hnojené digestátom v dávke $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ mali vyššiu produkciu sušiny, takmer na všetkých variantoch v porovnaní s nižšou dávkou hnojenia. Na pôvodnom poraste bola produkcia sušiny opäť najnižšia ($4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Lúčne miešanky zabezpečili skoro vyrovnanú

produkcii (od 7,6 do 7,9 t.ha⁻¹). Pri porovnaní jednotlivých typov silážnych miešaniek možno konštatovať, že najvyššou produkciou sušiny sa prejavila dočasná intenzívna ďatelinotrávna miešanka (8,1 t.ha⁻¹). Toto zvýšenie predstavuje nárast až o 25,0 % oproti lúčnym miešankám.

V priemere pôvodný trávny porast mal najnižšiu priemernú produkciu sušiny 4,16 t.ha⁻¹. Preukazne ($P < 0,05$) najvyššiu produkciu sušiny 7,50 t.ha⁻¹ mala lúčna miešanka do vlhka. Lúčne miešanky dosiahli priemernú úrodu fytomasy 6,73 (variant 3) a 7,50 t.ha⁻¹ (variant 2), čo predstavuje zvýšenie o 61,8 – 80,3 % oproti pôvodnému porastu. Silážne miešanky zaznamenali rovnako vyššiu produkciu sušiny pri porovnaní s kontrolou o 51,40 až 77,20 %, ale bez signifikantného rozdielu (tab.3). Aplikácia digestátu v dávke 45 kg N.ha⁻¹ zvýšila úrodu fytomasy u všetkých variantov o 22,90 % (o 1,23 t.ha⁻¹). Preukazný vplyv na produkciu fytomasy ($P < 0,05$) bol zaznamenaný pri vyšších dávkach digestátu, ktoré zvýšili úrodu až o 30,6 %. Tieto výsledky potvrdzujú zistenia viacerých autorov, že produkcia sušiny sa zvyšuje so zvyšujúcimi sa dávkami dusíka /4, 7, 12, 17/.

Špecifická výťažnosť trávnej fytomasy nebola stanovená meraním, ale výpočtom. Použili sme hodnoty pre podhorské lúky a siate trávne porasty, 122 l_N.kg⁻¹ ODS pre nížinné a podhorské kosné lúky, 143 l_N.kg⁻¹ ODS pre siate trávne porasty /16/. Maximálna hodnota výťažnosti biometánu v prvej kosbe na nehnojených variantoch sa dosiahla na variante s dočasnou silážnou miešankou (25,40 GJ.ha⁻¹). Druhá kosba poskytla výťažnosť v rozmedzí od 6,77 (pôvodný porast) do 8,99 GJ.ha⁻¹ na variante s lúčnou miešankou do vlhka (variant 2). Tretia kosba zaznamenala najnižšie hodnoty (graf 1). Pôvodný nehnojený porast dosiahol minimálnu výťažnosť biometánu (18,056 GJ.ha⁻¹). Najvyššiu výťažnosť zabezpečila dočasná intenzívna silážna miešanka 34,92 GJ.ha⁻¹, čo je o 93,4 % viac ako poskytol pôvodný porast. Na variantoch hnojených dávkou digestátu 45 kg N.ha⁻¹ sa zistil nárast výťažnosti biometánu pri všetkých miešankách, najviac na lúčnej miešanke do vlhka, až o 104,20 %. Lúčne miešanky poskytli vyššiu výťažnosť biometánu (39,15 – 51,85 GJ.ha⁻¹) ako silážne miešanky (28,57 – 36,51 GJ.ha⁻¹). K podobným hodnotám dospeli viacerí autori /16/, ktorí udávajú obdobný energetický výnos biometánu na poloprirodných ekosystémoch (5,5 – 35,5 GJ.ha⁻¹).



Graf 1: Výťažnosť biometánu /GJ.ha⁻¹/ v jednotlivých kosbách

Vyššia dávka digestátu (90 kg N.ha^{-1}) zvýšila výťažnosť o 2,70 – 17,39 % pri porovnaní s variantmi hnojenými nižšou dávkou digestátu (graf 1). Výnimku tvoril variant s lúčnou miešankou do vlhka (variant 2), kde bola výťažnosť nižšia o $10,05 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Maximálna hodnota výťažnosti sa zaznamenala na variante s dočasnou intenzívnou miešankou, $42,85 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Pôvodný porast dosiahol najnižšiu výťažnosť $20,31 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Pri porovnaní s nehnojenými variantmi bol nárast výťažnosti biometánu ešte vyšší, najmä na lúčnych miešankách o 46,15 – 64,40 % a na silážnych miešankách o $0,53 - 7,94 \text{ GJ.ha}^{-1}$, čo predstavuje zvýšenie o 1,61 – 22,72 %.

Tab. 3: Vplyv miešaniek a hnojenia na produkciu sušiny a výťažnosť biometánu.

Legenda: Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey t -test, $P = 0,05$), * - signifikantné rozdiely na úrovni 95%

Faktor					
Typ miešanky			Hnojenie		
Variant	Produkcia sušiny (t.ha^{-1})	Výťažnosť biometánu (GJ.ha^{-1})	Digestát (kg N.ha^{-1})	Produkcia sušiny (t.ha^{-1})	Výťažnosť biometánu (GJ.ha^{-1})
1	4,16 ^a	22,05 ^a	0	5,36 ^a	28,36 ^a
2	7,50 ^b	39,68 ^b	45	6,59 ^a	35,44 ^{ab}
3	6,73 ^{ab}	35,63 ^{ab}	90	7,00 ^b	36,40 ^b
4	7,20 ^{ab}	38,09 ^{ab}	<i>P-value</i>	0,0075*	0,0148*
5	5,96 ^{ab}	31,57 ^{ab}			
<i>P-value</i>	0,0522*	0,0052*			

Pôvodný porast dosiahol najnižšiu priemernú výťažnosť, len $22,05 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Lúčna miešanka do vlhka zaznamenala signifikantne najvyššiu výťažnosť biometánu, $39,68 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Aplikácia digestátu v dávke 90 kg N.ha^{-1} preukazne zvýšila ($P < 0,05$) špecifickú výťažnosť biometánu o $8,04 \text{ GJ.ha}^{-1}$, čo predstavuje navýšenie o 28,30 %. Aj pri nižšej dávke digestátu stúpala výťažnosť biometánu o $7,08 \text{ GJ.ha}^{-1}$ (25 %). Pri porovnaní jednotlivých dávok digestátu nebol rozdiel výťažnosti preukazný (tab. 3).

ZÁVER

Príspevok prezentuje potenciálnu produkciu biometánu z lúčnych a silážnych miešaniek hnojených rozdielnymi dávkami digestátu. Signifikantne najvyššia produkcia sušiny sa zistila pri lúčnej miešanke do vlhka ($7,50 \text{ t.ha}^{-1}$). Vyššia dávka digestátu (90 kg N.ha^{-1}) preukazne zvýšila úrodu sušiny a tiež výťažnosť biometánu ($36,40 \text{ GJ.ha}^{-1}$). Špecifická výťažnosť biometánu bola v maximálnych hodnotách evidovaná na lúčnej miešanke do vlhka, $39,68 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Celkovo lúčne miešanky dosiahli vyššiu výťažnosť biometánu ako silážne miešanky.

LITERATÚRA

- 1/ Holúbek, R., Jančovič, J., Gregorová, H., Novák, J., Ďurková, E.: Krmovínárstvo – manažment pestovania a využívania krmovín. 1. vyd. Nitra : SPU, 2007: 420.
- 2/ Glaba, T., Kacorzkyb, P.: Root distribution and herbage production under different management regimes of mountain grassland. Soil and Tillage Research, 113 (2), 2011: 99-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.02.008>

- /3/ Kaiser, F., Gronauer, A.: Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen (Methane potential of renewable resources in biogas plants). p. 24. Freising-Weihenstephan, Germany: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007.
- /4/ Kováčiková, Z., Vargová, V.: Utilization of digested substrate in permanent grassland nutrition. *Acta Agronomica Ovariensis*, 63, 2022, no. 1, s. 147 - 161. ISSN 2498 – 907X. Dostupné na: https://real.mtak.hu/193344/1/EPA03114_acta_agronomica_ovariensis_2022_1_147-161.pdf
- /5/ McEniry, J., Finnan J., King C., O'Kiely, P.: The effect of ensiling and fractionation on the suitability for combustion of three common grassland species at sequential harvest dates. *Grass and Forage Science*, 67, 2012, 559–568.
- /6/ Murphy J.D., Power N.M.: An argument for using biomethane generated from grass as a biofuel in Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 33, 2009, 504–512.
- /7/ Nerušil P., Kohoutek A., Komárek P., Odstrčilová V.: Effects of utilisation intensity and fertilization level on forage production and quality of permanent grassland on a fluvisoil. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 56 (5), 2008, p. 153-162.
- /8/ Perry, R. H. & Chilton, C. H.: *Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill, New York. 1973.
- /9/ Pötsch et. al.: Extensively used grassland as a basis of low input livestock systems and as a resource of energy and raw materials. *Grassland Science in Europe*, 14, 2009, 428–431.
- /10/ Prochnow, A., Heiermann, M., Drenckan, A., Schelle, H.: Seasonal pattern of biomethanation of grass from landscape management. *Agricultural International: The CIGR Ejournal*, Manuscript, 2005, 1–17.
- /11/ Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Amont, T., Hobbs P.J.: Bioenergy from permanent grassland –a review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*, 100, 2009, 4931–4944.
- /12/ Raus, J., Knot, P., Hrabě, F.: Effect of fertilization and harvest frequency on floristic composition and yields of meadow stand. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60 (5), 2012, p. 181-186.
- /13/ Seppälä, M., Paavola, T., Lehtomäki, A., Rintala J.: Biogas production from boreal herbaceous grasses–specific methane yield and methane yield per hectare. *Bioresource Technology*, 100, 2009, 2952–2958.
- /14/ Skládanka, J. et al.: *Pícninářství*. Brno: MU, 2014, 368 s.
- /15/ Tilvikienė V., Kadziulienė, Z., Dabkevicius, Z.: Biomass of cocksfoot and tall fescue as a substrate for biogas production. *Grassland Science in Europe*, 14, 2009, 322–324.
- /16/ Van Meerbeek, K. et al.: Energy potential for combustion and anaerobic digestion of biomass from low-input high-diversity systems in conservation areas. *Gcb Bioenergy* 7, 2015, p. 888-898.
- /17/ Vargová, V., Kováčiková, Z., Kizeková, M.: Yield and quality phytomass of alluvial meadow in interaction with temperature and rainfall. *Journal of Central European Agriculture*, 22 (1), 2021, p. 119-126. Dostupné na: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2863>

Pod'akovanie

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č.19R01-18-P01-00001 „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“.

AKUMULÁCIA KOREŇOVEJ HMOTY A UHLÍKA V TRÁVNÝCH EKOSYSTÉMOCH

ROOT MASS AND CARBON ACCUMULATION IN GRASSLAND ECOSYSTEMS

Jozef Čunderlík

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36 Banská Bystrica 974 21, jozef.cunderlik@nppc.sk

Summary

Root biomass accounts for 60–90% of the net primary production of grasslands. On average of two years (2023 and 2024) we monitored the production of root mass and carbon in grassland. The highest root mass production ($10,10 \text{ t.ha}^{-1}$) was in 2024. During the growing season, the accumulation of root biomass ($9,46 \text{ t.ha}^{-1}$) was higher in the autumn collection. The grazed variant achieved the highest root mass production ($9,87 \text{ t.ha}^{-1}$). The highest carbon accumulation in root mass was in 2024 ($4,78 \text{ t.ha}^{-1}$).

Key words: grassland, root mass, carbon production, variants, content of biogenic elements

Súhrn

Koreňová biomasa predstavuje 60 – 90 % čistej primárnej produkcie trávnatých porastov. V priebehu rokov 2023 a 2024 sme sledovali produkciu koreňovej hmoty a uhlíka v trávnom poraste. Najvyššia produkcia koreňovej hmoty ($10,10 \text{ t.ha}^{-1}$) v bola v roku 2024. V priebehu vegetačného obdobia bola vyššia akumuláciu koreňovej biomasy ($9,46 \text{ t.ha}^{-1}$) v jesennom odbere. Pasený variant dosiahol najvyššiu produkciu koreňovej hmoty ($9,87 \text{ t.ha}^{-1}$). Najvyššia akumulácia uhlíka v koreňovej hmote bola v roku 2024 ($4,78 \text{ t.ha}^{-1}$).

Kľúčové slová: trávny porast, koreňová biomasa, produkcia uhlíka, varianty, obsah biogénnych prvkov

ÚVOD

Hlavným pestovateľským cieľom trávnych porastov je zlepšenie pomeru nadzemnej a podzemnej hmoty rastliny v prospech koreňov, ale aj hlboké prenikanie koreňov do pôdy, teda zvyšovanie úrovne suchovzdornosti a čiastočne odolnosti voči vysokým teplotám a hlavne klimatickým zmenám. Potvrdzujú to aj práce /1/. Sú dôležitým prvkom ekologickej stability krajiny a z tohto aspektu je veľmi významný koreňový systém trávnych porastov. Potvrdzujú to aj výsledky /6/. Množstvo koreňovej biomasy trávnych porastov je výrazným zdrojom organickej hmoty, ktorá zlepšuje štruktúru a úrodnosť pôdy. Pomer medzi prísunom čerstvej organickej hmoty do pôdy, jej mineralizáciou a humifikáciou je charakterizovaný prevahou humifikácie nad mineralizáciou a tak postupnou akumuláciou pôdnej organickej hmoty. Potvrdzujú to výsledky prác /7/.

Z hľadiska uvedených dôvodov má preto štúdium niektorých aspektov kolobehu C pri súčasne používaných spôsoboch obhospodarovania trávnych porastov veľký význam. Potvrdzujú to výskumné správy /4/.

MATERIÁLY A METÓDY

Cieľom riešenia bolo stanovenie sezónnych zmien produkcie podzemnej rastlinnej biomasy (vyjadrené hmotnosťou sušiny koreňov) a akumulácie uhlíka pri rôznych systémoch obhospodarovania trávnych porastov na vybraných modelových územiach v priebehu rokov 2023 – 2024. Pokus bol založený v roku 2023 na stanovišti Vígľaš. Nadmorská výška je 370 m. n. m., a presnou pozíciou podľa GPS 48°33'48"N 19°19'22"E. Priemerná ročná teplota je 8,0 °C, priemerná teplota za vegetačné obdobie je 14,7 °C, ročný úhrn zrážok je 615 mm, úhrn zrážok za vegetačné obdobie je 388 mm. Pôdny typ je pseudoglej. Druhé stanovište bolo v Turovej, ktoré leží v styku juhovýchodnej časti Kremnických vrchov so Zvolenskou kotlinou. Nadmorská výška je 345 m. n. m., a presnou pozíciou podľa GPS 48°35'55"N 19°03'11"E. Priemerná ročná teplota je 8,2 °C, priemerná teplota za vegetačné obdobie je 15,3 °C, ročný úhrn zrážok je 750 mm, úhrn zrážok za vegetačné obdobie je 420 mm. Pôdny typ sú hnedé kambizeme. Odber koreňových vzoriek sme uskutočnili metódou odberu pôdnych monolitov. Odbery sa realizovali na začiatku a na konci vegetačnej sezóny. Odber vzoriek sa uskutočnil pomocou oceľového valca ($\varnothing = 50$ mm) do hĺbky pôdy 100-120 mm v 4-tich opakovaniach. Výskumná úloha riešila tri hlavné technológie obhospodarovania trávnych porastov:

1. kosený trávny porast na ornej pôde – Vígľaš,
2. pasený trávny porast na TTP – Turová,
3. agrolesnícky pasený porast na TTP – Turová.

Výsledky boli vyhodnotené metódou viacnásobnej a jednoduchej analýzy rozptylu pomocou programu STATGRAPHICS pričom pre posúdenie preukaznosti rozdielov medzi priemernými hodnotami jednotlivých ukazovateľov sme použili LSD test ($P < 0,05$).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Najvyššia akumulácia koreňovej biomasy v jarnom odbere v roku 2023 ($10,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) bola na poraste, kde sa pásol hovädzí dobytok (tab.1). Druhá najvyššia tvorba koreňovej hmoty ($6,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) bola na agrolesníckom variante. V priemere jarných odberov mal najnižšiu akumuláciu ($4,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) kosený variant, čo pripisujeme slabšej regenerácii porastu v priebehu vegetačného kľúdu. V jesennom odbere mal najvyššiu tvorbu koreňov ($10,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) znova pasený porast (tab.1). Najnižšiu akumuláciu koreňov ($4,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) mal agrolesnícky porast, čo pripisujeme vyššiemu počtu drevín na ploche, ktoré negatívne pôsobili na tvorbu nadzemnej a podzemnej biomasy trávneho porastu, kde sa pásli jalovice. Jesenné odbery mali vyššiu tvorbu koreňovej hmoty len o 4 % v porovnaní z jarnými odbermi, čo signalizuje menej intenzívnejší transport fotoasimilátov do koreňovej sústavy.

Tabuľka 1 Produkcia koreňovej biomasy ($t \cdot ha^{-1}$) v roku 2023

Rok	Variant	Koreňová biomasa ($t \cdot ha^{-1}$)
Jarný odber	Turová - pasený	10,1
	Turová - agrolesnícky	6,00
	Detva - kosený	4,2
Jesenný odber	Turová - pasený	10,9
	Turová - agrolesnícky	4,2
	Detva - kosený	6,1

V roku 2024 bola najvyššia akumulácia koreňovej biomasy v jarnom odbere ($12,80 t \cdot ha^{-1}$) na variante, ktorý sa kosil (tab.2). Najnižšia produkcia koreňovej biomasy ($4,90 t \cdot ha^{-1}$) bola na agrolesníckom variante, čo pripisujeme opäť vyššiemu počtu drevín na ploche a paseniu jalovíc. V jesennom odbere bola najvyššia produkcia koreňovej hmoty ($15,10 t \cdot ha^{-1}$) na kosenom variante a najnižšia opäť na agrolesníckom variante ($9,40 t \cdot ha^{-1}$). Produkcia koreňovej hmoty bola vyššia v jesennom odbere o 29,5 % v porovnaní s jarným odberom.

Tabuľka 2 Produkcia koreňovej biomasy ($t \cdot ha^{-1}$) v roku 2024

Rok	Variant	Koreňová biomasa ($t \cdot ha^{-1}$)
Jarný odber	Turová - pasený	7,40
	Turová - agrolesnícky	4,90
	Detva - kosený	12,80
Jesenný odber	Turová - pasený	11,10
	Turová - agrolesnícky	9,40
	Detva - kosený	15,10

Na hĺbku prekorenenia a na aktívni povrch koreňov vplýva okrem druhu porastu, hlavne intenzita a spôsob využívania. Hĺbka prekorenenia klesá s rastúcim počtom kosieb a vyšším utužením vegetačnej vrstvy. Na intenzívne využívaných porastoch je 80-90 % celkovej koreňovej biomasy vo vrstve pôdy 0 – 50 mm. Vzhľadom na uvedené funkcie by bolo vhodné, keby sa podiel viacročných krmovín na ornej pôde pohyboval v nížinných regiónoch minimálne na úrovni 15 – 16 % a v erózne ohrozených oblastiach (svahové pôdy) až na úrovni 20 – 30 %. Potvrdzujú to aj správy [2]. Preto znalosti o rozvrstvení koreňov v pôde prispievajú k poznaniu štrukturálnych rozdielov medzi porastami i k vysvetleniu a popisu funkčných charakteristík ekosystémov. Autori [3] uvádzajú, že množstvo podzemných orgánov (korene, podzemky, rhizómy žijúce alebo odumreté, označované ako koreňová hmota) je mnohonásobne vyššie než pri krátko žijúcich plodinách na ornej pôde. Odumieranie a tvorba koreňov prebieha súčasne takmer po celý rok. Organický uhlík je uhlík, ktorý po odumretí živých organizmov zostáva v pôde. Časť z tohto organického uhlíka sa v pôde vplyvom mikrobiálnych procesov pomerne rýchlo rozloží až na konečný produkt CO_2 a dostane sa naspäť do atmosféry. Zároveň sa pritom uvoľnia dôležité živiny, potrebné na rast rastlín. Druhá časť uhlíka z odumretej biomasy prechádza zložitými procesmi humifikácie, a v podobe humusu zostáva v pôde.

Získané výsledky úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov v koreňoch a uhlíka v koreňoch sme vyhodnotili aj matematicko-štatistickou metódou. (tab.3,4,5,6). Štatisticky preukazné rozdiely sme zaznamenali v úrodách za sledované roky. Preukazne ($P <$

0,05) vyššiu úrodu (10,10 t.ha⁻¹) sme dosiahli v roku 2024. Preukazné rozdiely boli aj pri obsahoch prvkov v koreňovej hmote za sledované roky. Preukazne ($P < 0,05$) vyššie obsahy NL (73,09 g.kg⁻¹), P (1,43 g.kg⁻¹), K (10,35 g.kg⁻¹) a Ca (6,49 g.kg⁻¹) sme zaznamenali v roku 2024. Nepreukazný rozdiel úrod koreňovej hmoty bol medzi odbermi za sledované roky. Preukazné vyšší obsah NL (68,52 g.kg⁻¹) bol v jarnom odbere. V jesennom termíne odberu boli preukazne vyššie obsahy prvkov fosforu a sodíka. Nepreukazný rozdiel bol len pri obsahu draslíka, vápnika a horčíka. Nepreukazné rozdiely sme zaznamenali aj medzi variantami za sledované roky. Preukazne ($P < 0,05$) najvyššie obsahy NL (91,06 g.kg⁻¹), P (1,84 g.kg⁻¹), mal kosený variant. Nepreukazný rozdiel na všetkých variantoch bol len pri obsahu vápnika. Nepreukazné rozdiely pri akumulácii uhlíka v koreňovom substráte sme zaznamenali medzi rokmi, odbermi a variantami.

Tabuľka 3 Analýza variancie pre hodnotenie úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov za roky 2023 – 2024

Rok	Úroda (t.ha ⁻¹)	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha ⁻¹)					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
2023	6,90 a	58,01 a	1,20 a	6,41 a	0,68 a	7,87 a	1,47 a
2024	10,10 b	73,09 b	1,43 b	10,35 b	0,65 a	6,49 b	1,53 a
Hd $\alpha_{0,05}$	3,125	4,125	0,096	1,178	0,088	0,879	0,163

Tabuľka 4 Analýza variancie pre hodnotenie úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov za odbery v rokoch 2023 - 2024

Odber	Úroda (t.ha ⁻¹)	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha ⁻¹)					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
Jar	7,53 a	68,52 a	1,19 a	7,83 a	0,58 a	7,39 a	1,50 a
Jeseň	9,46 a	62,57 b	1,44 b	8,93 a	0,76 b	6,97 a	1,50 a
Hd $\alpha_{0,05}$	3,053	4,125	0,096	1,178	0,088	0,879	0,163

Tabuľka 5 Analýza variancie pre hodnotenie úrod koreňovej hmoty, koncentrácie biogénnych prvkov za varianty v rokoch 2023 – 2024

Variant	Úroda (t.ha ⁻¹)	Koncentrácia biogénnych prvkov (kg.ha ⁻¹)					
		NL	P	K	Na	Ca	Mg
Pasený	9,87 a	46,38 a	0,84 a	7,78 a	0,57 a	7,38 a	1,12 a
Agrolesnícky	6,11 a	59,21 b	1,27 b	7,75 a	0,60 a	7,24 a	1,75 b
Kosený	9,51 a	91,06 c	1,84 c	9,61 b	0,82 b	6,92 a	1,63 b
Hd $\alpha_{0,05}$	4,607	6,082	0,141	1,737	0,130	1,296	0,240

Tabuľka 6 Analýza variancie pre hodnotenie uhlíka v koreňovej hmote

Rok	Úroda (t.ha ⁻¹)
2023	3,63 a
2024	4,78 a
Hd $\alpha_{0,05}$	1,49 a
Odber	
Jar	3,56 a
Jeseň	4,85 a
Hd $\alpha_{0,05}$	1,49 a
Variant	
Pasený	4,65 a
Agrolesnícky	2,91 a
Kosený	5,05 a
Hd $\alpha_{0,05}$	2,209

ZÁVER

Dosiahnuté výsledky jednoznačne potvrdzujú, že spôsob využívania pôdy podstatným spôsobom ovplyvňuje najmä tvorbu koreňovej biomasy a následne množstvo pôdnej organickej hmoty v priamej nadväznosti na obsah a štruktúru rastlinnej biomasy. Množstvo koreňovej hmoty a jej vertikálne rozloženie súvisí s intenzitou obhospodarovania trávnych porastov, pôdnymi podmienkami a druhovým zložením. Pôdna organická hmota v súčasnosti zohráva kľúčovú úlohu v snahách o zvýšenie sekvestrácie C.

LITERATÚRA

- /1/ Gáborčík, N., Tomaškin, J.: Produkcia a akumulácia koreňovej hmoty kultivarov d'ateliny plazivej (*Trifolium repens* L.). In Acta fytotechnica et zootechnica. Nitra: SPU, 2001, roč. 4, č. 4, s. 89-92, ISSN 1335- 258X
- /2/ Gregorová, H., Malý, O.: Poľné krmoviny. Druhé nezmenené vydanie. SPU: Nitra, 2002. ISBN: 80-8069-038-3: 128.
- /3/ Holúbek, R., Jančovič, J.: Lúkárstvo a pasienkárstvo. VŠP Nitra, 1995: 209.
- /4/ Ondrášek, L. et al.: Pôdno-mikrobiologická charakteristika a štruktúra rastlinnej biomasy v rôzne využívaných trávnych porastoch. In: Lúkárstvo a pasienkárstvo na Slovensku. Odborný časopis zameraný na trávne porasty, rozvoj vidieka, krmovinnárstvo, SCPV- VÚTPHP Banská Bystrica, roč. 3, 2009, č. 1, s. 35 - 40. ISSN 1337-589X
- /5/ Tomaškin, J.: Role of non-productional functions of grassland in soil protection and environment. In Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2007, Vol. 2, No. 1, p. 33 - 38. ISSN 1842-4090
- /6/ Tomaški, J., Zimková, M.: Accumulation and production of root system in grassland ecosystems. In Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, zeszyt 478, Kształtowanie środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn. Warszawa: Polska akademia nauk, 2001, s. 71-77, ISSN 0084-5477
- /7/ Winther, F.P. et al.: Measurement of CO₂ evolution in situ. Paper presented at Cost Action 627: Carbon Storage in European Grasslands. Meeting of working groups 1 & 2, Trinity College Dublin, Ireland, 5th - 8th April, 2001; Published in Abstracts of the Cost Action 627 meeting: Carbon Storage in European Grasslands, page 17.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla s podporou projektu RE Power EU a ÚOP MPRV SR „Vypracovanie plánov monitoringu vplyvu redukcie odpadovej biomasy a zvyškov z poľnohospodárskej pôdy na zásoby uhlíka v pôde pre účely plnenia Smernice EÚ č. 2018/2001“.

ÚČINOK RÔZNEJ ÚPRAVY ALGINITU NA VYBRANÉ RASTOVO- PRODUKČNÉ PARAMETRE TRÁVNÍKA V BEZZÁVLAHOVÝCH PODMIENKACH

THE EFFECT OF DIFFERENT ALGINITE ADJUSTMENTS ON SELECTED GROWTH AND PRODUCTION PARAMETERS OF TURF UNDER NON-IRRIGATED CONDITIONS

Peter Hric, Ľuboš Vozár, Peter Kovár, Marek Rašovský

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Ústav rastlinnej produkcie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, peter.hric@uniag.sk

Summary

The aim of this turf experiment was to compare the effect of different alginite treatments on the average height and average production of turf under non-irrigated conditions. . The experiment was carried out at the Demonstration Base of the Institute of Plant Production of the Slovak University of Agriculture in Nitra. There were followed 5 treatments: 1 control (without application alginite), 2 crushed alginite (crushed), 3 powdered alginite (powder), 4 heat-treated alginite (UJTO) and 5 ultrasound-treated alginite (UJUZ). The statistically highest values of average height and average production of dry above-ground phytomass were recorded with heat-treated alginite compared to the control. Also, the turf treated with ultrasonically alginite achieved insignificant higher values of the monitored indicators than the control variant. Crushed and powdered alginite presented a slight improvement, but these values were statistically insignificant.

Key words: alginite, turf, height, production

Súhrn

Cieľom experimentu bolo porovnať vplyv rôznej úpravy algnitu na priemernú výšku a priemernú produkciu trávnik v bezzávlahových podmienkach. Pokus sa realizoval v Demonštračnej báze Ústavu rastlinnej produkcie Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Sledovalo sa 5 variantov: 1. kontrola (bez aplikácie algnitu), 2. drvený alginít (drvený), 3. jemne mletý alginít (púder), 4. tepelne upravený alginít (UJTO) a ultrazvukom upravený alginít (UJUZ). Štatisticky preukazne najvyššie hodnoty priemernej výšky a priemernej produkcie suchej nadzemnej fytomasy boli zaznamenané pri tepelne upravenom alginite v porovnaní s kontrolou. Takisto aj trávnik ošetrovaný alginitom ultrazvukovo dosiahol nepreukazne vyššie hodnoty sledovaných ukazovateľov ako kontrolný variant. Drvený alginít a jemne mletý alginít sa prezentovali miernym zlepšením, avšak tieto hodnoty boli štatisticky nevýznamné.

Kľúčové slová: alginít, trávnik, výška, produkcia

ÚVOD

ntenzita rastu a miera akumulácie nadzemnej fytomasy predstavujú kľúčové bioindikátory pri hodnotení funkčnej a estetickej kvality trávneho porastu. Optimalizácia manažmentu trávnikov smeruje k redukcii frekvencie kosenia a k minimalizácii akumulácie vegetatívnej biomasy, čo je možné dosiahnuť cieleným šľachtením genotypov s požadovanými

rastovými charakteristikami. Produkčný potenciál nadzemnej biomasy je determinovaný interakciou genetických faktorov a vonkajších podmienok, vrátane edafických a klimatických parametrov, úrovne a pomeru živinovej dostupnosti, fenologickej fázy rastlín, režimu a intenzity závlahy, spôsobu a frekvencie mechanického zásahu, botanickej diverzity trávnej zmesi a ďalších biotických i abiotických stresorov /9,15, 8/.

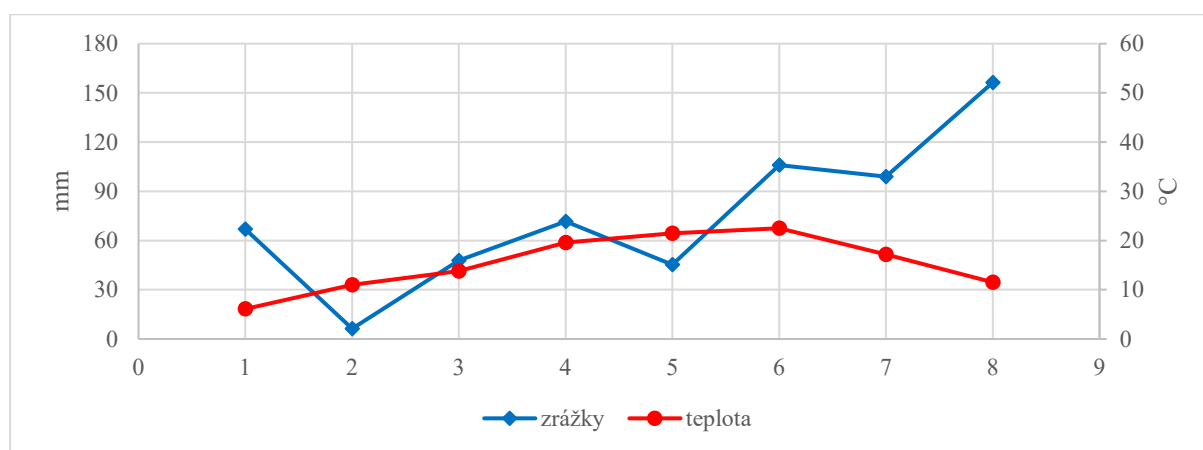
Prírodné látky a rôzne extrakty s bioaktívnymi zložkami môžu byť považované za biostimulanty. Medzi typické zložky patria humínové, fulvové, minerálne prvky, aminokyseliny, chitín, vitamíny a rôzne polysacharidy a oligosacharidy /5, 6/

Alginít je prírodný zdroj humínových a iných prírodných biologicky aktívnych látok. Je to organický sediment patriaci do skupiny ropných bridlíc. Vznikol hromadením organického materiálu (rias) a anorganických látok (íl, uhličitany, kremeň a amorfná forma kyseliny kremičitej) vo vodnom prostredí pred 3–4 miliónmi rokov. Obsahuje viac fulvokyselín než humínových kyselín /14,13, 10, 12, 4/.

Cieľom príspevku bolo porovnať vplyv rôznej úpravy alginitu na priemernú výšku a priemernú produkciu trávnik.

MATERIÁL A METODIKA

Trávníkový experiment sa realizoval v Demonštračnej báze Ústavu rastlinnej produkcie FAPZ SPU v Nitre (Slovenská republika) v roku 2020 (prvý úžitkový rok). Pokusné varianty boli usporiadané blokovo v troch opakovaniach. Veľkosť každého variantu bola 1,5 m x 2 m. Pokus bol realizovaný v bezzávlahových podmienkach. Experimentálna plocha sa nachádza v miernom klimatickom pásme teplej a suchej oblasti. Priemerná ročná teplota dosahuje 9,7 °C a priemerný ročný úhrn zrážok je 561 mm /3/ Pribeh poveternostných podmienok v sledovanom období znázorňuje graf 1. Pôdnym typom je ílovito-hlinitá fluvizem. Agrochemické vlastnosti pôdy pokusného stanovišťa pred založením porastu uvádzame v tabuľke 1.



Graf 1: Priebeh poveternostných podmienok v roku 2020

Tab. 1: Agrochemické vlastnosti pôdy pokusného stanovišťa

N _t	P	K	Mg	Ca	C _{ox}	pH
mg.kg ⁻¹					g.kg ⁻¹	
1 823,2	58,3	336	541	6 067	7,7	6,78

V poľnom pokuse boli sledované nasledovné varianty:

V 1: Kontrola bez alginitu (v texte „kontrola“)

V 2: Aplikácia drveného alginitu do pôdy „drvený“)

V 3: Aplikácia mletého alginitu do pôdy „púder“)

V 4: Aplikácia ultra jemne mletého tepelne ošetreného alginitu do pôdy „UJTO“)

V 5: Aplikácia ultra jemne mletého ultrazvukom ošetreného alginitu do pôdy „UJUZ“)

Pri aplikácii pevnej formy Alginitu (drvený, resp. púder) vychádzame z obsahu SiO_2 . Odporúčaná dávka v literatúre je $0,05 \text{ kg.m}^2$. Alginit obsahuje približne 50 % SiO_2 . Na základe uvedených údajov sme pri zakladaní pokusu do pôdy aplikovali 0,3 kg Alginitu (drvený, resp. púder) na plochu 3m^2 (variant).

Aplikácia drveného, mletého (púder) Alginitu a taktiež aj ultra jemne mletého Alginitu ošetreného tepelne a ultrazvukom sa realizovala pred výsevom trávneho osiva .

Na všetky varianty sme aplikovali hnojivo s predĺženým účinkom Travcerit (15-3-8) v dávke zodpovedajúcej 170 kg.ha^{-1} dusíka, 40 kg.ha^{-1} fosforu a 80 kg.ha^{-1} draslíka rozdelené na 3 rovnaké množstvá, ktoré sa aplikovali 27. marca, 17. júna a 28. augusta 2020.

Trávniky sa kosili na výšku 50 mm pri dosiahnutí priemernej výšky približne 80 mm. V tabuľke 2 uvádzame termíny jednotlivých kosieb (meraní, odberov) v roku 2020.

Tab. 2: Termíny a poradie jednotlivých kosieb (meraní, odberov) v roku 2020

Poradie kosby	Dátum kosby	Poradie kosby	Dátum kosby
1.	17.4.	7.	10.7.
2.	30.4.	8.	10.8.
3.	18.5.	9.	10.9.
4.	3.6.	10.	25.9.
5.	22.6.	11.	5.10.
6.	29.6.	12.	25.10.

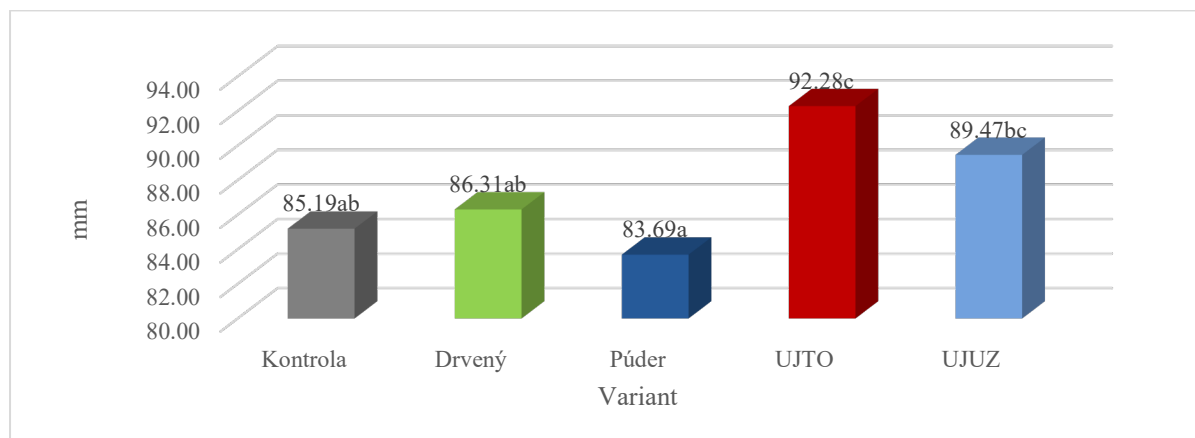
V pokuse sa sledovala priemerná výška porastu v kosbe (mm) – pred každou kosbou sa stanovovala výška porastu pomocou pravítka a vyjadřila sa ako priemer 10 meraní v parcelke. Priemerná produkcia nadzemnej fytohmoty (g.m^{-2}) v kosbe – pri každej kosbe sa vzorky odoberali pomocou akumulčných nožníc z plochy $100 \times 1\,000 \text{ mm}$ a štandardne sa sušili pri teplote 105°C a následným vážením sa zistila hmotnosť sušiny.

Výsledky boli štatisticky vyhodnotené analýzou rozptylu (ANOVA - Multiple Range Tests, metóda: 95,0 % LSD) pomocou softvérového systému na analýzu údajov STATISTICA verzia 10 (18).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

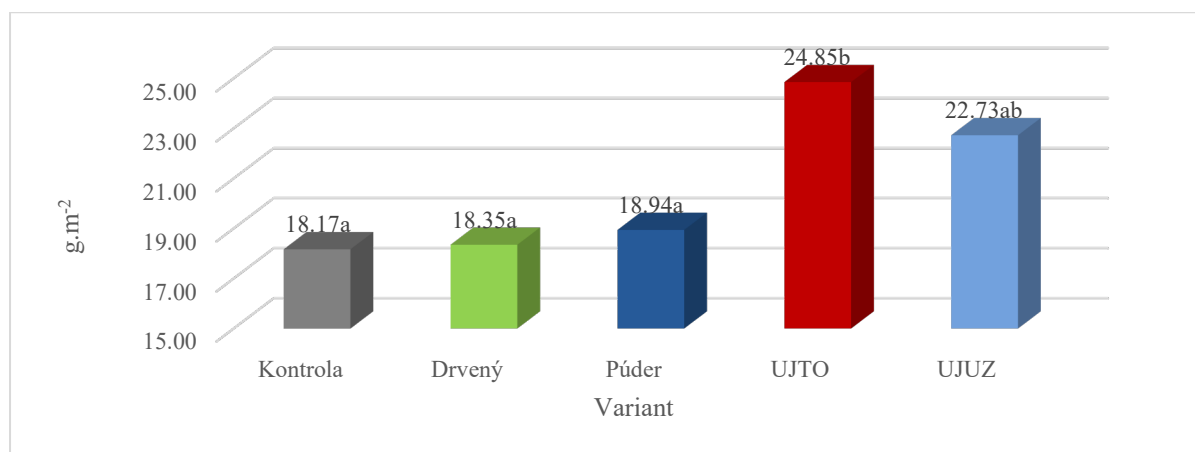
Priemerná výška trávnik je prezentovaná v grafe 2. Kontrolný variant dosiahol nepreukazne vyššiu priemernú výšku trávnik v porovnaní s porastom ošetreným púdom. Naopak iba o 1,12 mm (drvený), resp. 4,28 mm (UJUZ) bola kontrola nepreukazne priemerne nižšia. Trávník s tepelne upraveným alginitom (UJTO) zaznamenal preukazne vyššiu priemernú výšku trávnik ako kontrolný variant bez ošetrovania. Humínové a fulvokyseliny, predstavujúce významné zložky alginitu, vykazujú mnohostranné pozitívne účinky na fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy, čo sa následne prejavuje v podpore rastu rastlín /16,

17/. Humínové kyseliny boli preukázateľne efektívne pri stimulácii rastu rôznych poľnohospodárskych plodín /7/, vrátane trávnikov /11/.



Graf 2: Priemerná výška trávniku

Priemerná produkcia suchej nadzemnej fytoomasy (graf 3) bola nepreukazne vyššia na trávnikoch s aplikáciou drveného alginitu ($18,35 \text{ g.m}^{-2}$) a vo forme púdro ($18,94 \text{ g.m}^{-2}$) ako na kontrole ($18,17 \text{ g.m}^{-2}$). Na trávnikoch s tepelne (UJTO) a ultrazvukovo (UJUZ) upraveným alginitom sa zaznamenali preukazne vyššie priemerné produkcie suchej nadzemnej fytoomasy ($22,73 - 24,85 \text{ g.m}^{-2}$) v porovnaní s kontrolným variantom ($18,17 \text{ g.m}^{-2}$). Experimentálne štúdie Arnacona et al. /2/ a Aliho et al. /1/ preukázali signifikantný vplyv kombinovanej aplikácie humínových kyselín a NPK hnojív na produkciu sušiny rastlín.



Graf 3: Priemerná produkcia suchej nadzemnej fytoomasy trávniku

ZÁVER

V poľnom experimente zameranom na účinok rôznych úprav alginitu na trávnik v bezzávlahových podmienkach sa preukázalo, že aplikácia tepelne (UJTO) a ultrazvukom (UJUZ) upraveného alginitu mala pozitívny vplyv na rast a produkciu trávniku. Tieto varianty dosiahli preukazne vyššiu priemernú výšku a produkciu suchej nadzemnej fytoomasy v porovnaní s kontrolou. Aplikácia drveného a púdrového alginitu viedla len k miernemu, štatisticky nepreukaznému zlepšeniu. Výsledky potvrdzujú potenciál upraveného alginitu

ako možného efektívneho biostimulantu na zlepšenie rastových a produkčných parametrov trávniká aj bez dodatočnej závlahy.

LITERATÚRA

- /1/ Ali, A., Rehman, U. S., Allah, U. S., Raza, S.: Combined Effect of Humic Acid and NPK on Growth and Flower Development of Tulipa gesnerianain Faisalabad, Pakistan. *Journal of Ornamental Plants*, 4(4), 2014, 39–48
- /2/ Arancon, N. Q., Lee, S., Edwards, C. A., Atiyeh, R.: Effect of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicompost on growth of green house plants. *Pedobiologia*, 47, 2003, 741–744.
- /3/ Babošová, M., Noskovič, J.: Kvalita atmosférických zrážok v oblasti mesta Nitra-Dolná Malanta, Nitra: SPU, 2014, 65 s.
- /4/ Brindza, J., Vozár, E., Miko, M., Gažo, J., Kovár, P., Horčinová Sedláčková, V.: Unique effects of alginite as a bituminous rock on soil, water, plants and animal organisms - Review. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 2021, 5(1), 169–184.
- /5/ Bulgari, R., Cocetta, G., Trvelli, A., Vernieri, A., Ferrante, A.: Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 2021, 1–17.
- /6/ El Arroussi H., Benhima, R., Elbaouchi, A., Sijilmassi, B., El. Aafsar A., Metaf-Kadmiri, I., Bendaou, N., Smouni, A.: Dunalilla salina exopolysaccharides: a promising biostimulant for salt stress tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Applied Phycology*, 30(5), 2018, 2929–2941.
- /7/ El-Sayed, A. B., Shahin, M. S., El-Deen, T. M. N., El-Fadaly, G. H.: The Role of Humic and Amino Acid in Improving Growth and Quality of Paspalum Turf. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 4(1), 2017, 7–14.
- /8/ Emmons, R. Rosii, F.: *Turfgrass Science and Management*. Stamford: Cengage Learning. 2015, 608 p.
- /9/ Gregorová, H.: *Špeciálne trávnikárstvo*. Nitra: SPU, 2009, 148 s.
- /10/ Litavec, T., Barančíková, G.: Základná charakteristika alginitu. *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy č. 35: Zborník, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy*, Bratislava, 2013, s. 97–106.
- /11/ Hunter, A., Andres, A.: The influence of humic acid and turfgrass growth and development of creeping bentgrass. *Acta Horticulturae*, 661, 2004, 257–264.
- /12/ Kádár, I., Ragályi, P., Murányi, A., Radimsky, L., Gajdó, A.: Effect of Gércé alginite on the fertility of an acid sandy soil. *Agrokémia és Talajtan*, 64(2), 2015, 137–452.
- /13/ Kulich, J., Valko, J., Obernauer, D.: Perspective of exploitation of alginite in plant nutrition. *Journal of Central European Agriculture*, 2(3–4), 2001, 241–250
- /14/ Solti, G.: *Az alginite*. Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest. 1987.
- /15/ Turgeon, A. J.: *Turfgrass Management*. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River, 2012, 398 p.
- /16/ Maccarthy, P., Malcolm, R. L., Clapp, C. E., Bloom, P. R.: An Introduction to Soil Humic Substances. In *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Reading*. 1990, p. 1-12.
- /17/ Makiewicz-Walec, E., Olszewska, M.: Biostimulants in the Production of Forage Grasses and Turfgrasses. *Agriculture* 13(9), 2003, 1–33.
- /18/ Statistica program/documentation: StatSoft, Inc.: STATISTICA (data analysis software system), version 10. 2011.

Pod'akovanie

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia zmluvného výskumu organického minerálu alginitu s finančnou podporou a súhlasom spoločnosti GEOCOMPLEX, a.s.

Touto cestou vyslovujeme pod'akovanie Ing. Jánovi Gažovi, PhD. a Ing. Mariánovi Mikovi, CSc. za poskytnutie upravených foriem alginitu.

TRANSKRIPČNÁ AKTIVITA VYBRANÝCH WRKY GÉNOV SÓJE V ODPOVEDI NA LISTOVÚ APLIKÁCIU NANOČASTÍC ZINKU

TRANSCRIPTIONAL ACTIVITY OF SELECTED SOYBEAN WRKY GENES IN RESPONSE TO FOLIAR APPLICATION OF ZINC NANOPARTICLES

Adam Kováčik, Jana Žiarovská, Dagmar Moravčíková

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FAPZ, Inštitút rastlinných a
environmentálnych vied, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra, jana.ziarovska@uniag.sk

Summary

For many biological functions, plants need zinc, a crucial trace element. This study assessed the use of Zn-O nanoparticles as nanofertilizers to characterise the expression of specific WRKY genes in two types of *Glycine max* L. Using a handheld sprayer, foliar dispersions of ZnO nanoparticles at concentrations of $1.4 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, $14 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, and $140 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ were administered to control plants. We assessed the changes in expression of four WRKY genes. The WRKY11, WRKY106, and WRKY149 genes did not exhibit any discernible changes in expression when ZnO nanoparticles were applied topically at a dose of $1.4 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$. The highest applied concentration of ZnO nanoparticles resulted in the relevant upregulation of all the analysed WRKY genes with the values from 5 times (Adelfia, WRKY 90) up to the 80 times (Mentor, WRKY 106).

Key words: Glycine max L., ZnO nanoparticles, WRKY genes expression

Súhrn

Zinok je dôležitý stopový prvok, ktorý rastliny potrebujú na mnohé bunkové činnosti. V tejto štúdii bola vyhodnotená aplikácia nano-hnojív vo forme nanočastíc Zn-O s cieľom analyzovať expresiu vybraných génov WRKY v dvoch odrodách *Glycine max* L. Listové disperzie nanočastíc ZnO boli aplikované ručným postrekovačom s koncentráciami nanočastíc $1,4 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, $14 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ a $140 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ plus kontrolné rastliny. Boli hodnotené zmeny expresie štyroch génov WRKY. V prípade listovej aplikácie nanočastíc ZnO v koncentrácii $1,4 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ neboli zaznamenané žiadne významné zmeny expresie génov WRKY11, WRKY106 a WRKY149. Najvyššia aplikovaná koncentrácia nanočastíc ZnO viedla k relevantnej upregulácii všetkých analyzovaných génov WRKY s hodnotami od 5-násobku (Adelfia, WRKY 90) až po 80-násobok (Mentor, WRKY 106).

Kľúčové slová: sója, nanočastice zinku, expresia WRKY génov

ÚVOD

Glycine max L. (sója) patrí k plodinám s najväčším ekonomickým vplyvom na celom svete s veľkým významom pre výživu ľudí a zvierat, chemický a potravinársky priemysel a výrobu biopalív [1,2]. Za posledné desaťročie sa celosvetová produkcia tejto strukoviny v

dôsledku šľachtiteľských stratégií a pokročilých agrotechnických postupov zvýšila 8,4-násobne, pričom produktivita sa zdvojnásobila /3/. Na základe toho je sója predmetom mnohých výskumných oblastí súvisiacich s jej schopnosťou reagovať na stres alebo interakciu s rôznymi látkami. Aplikácia nanohnojív vo forme Zn-O nanočastíc bola už skôr hodnotená z hľadiska jej vplyvu na environmentálne významné vlastnosti pôdy pri pestovaní sóje v poľných agronomických podmienkach a nebol zistený žiadny negatívny vplyv na vybrané vlastnosti pôdy spolu s pozitívnou stimuláciou životaschopnosti peľu /4/.

Zinok je životne dôležitý stopový prvok, ktorý rastliny potrebujú pre mnohé bunkové činnosti. V sóji môže nedostatok zinku viesť k vážnym fyziologickým a morfológickým zmenám, ktoré ovplyvňujú produktivitu. Pochopenie funkcií zinku v sóji môže pomôcť zlepšiť stratégie riadenia živín a zvýšiť úrodu /5-7/. V plodinách toxicita Zn pri koncentráciách nad 3 - 10 ppm v živných roztokoch výrazne inhibovala rast, pričom citlivé plodiny, ako napríklad špenát, vykazovali pri nižších prahových hodnotách 50 % zníženie úrody /8/. V prípade sóje boli zaznamenané rôzne fyziologické a biochemické funkcie zinku. Podieľa sa na aktivácii enzýmov, kde zinok pôsobí ako kofaktor pre rôzne enzýmy, ako je superoxid dismutáza, karbonická anhydráza a RNA polymeráza, ktoré sú nevyhnutné pre bunkový metabolizmus a reakcie na stres /9/.

Regulácia reakcie rastlín na abiotický stres prebieha v rámci rôznych metabolických dráh /10/. Transkripčné faktory WRKY zohrávajú kľúčovú úlohu v regulačných sieťach spojených s reakciami rastlín na stres a uvádza sa, že tvoria jednu z najväčších rodín regulačných proteínov v rastlinách /11/. Sú zapojené do dráh, ktoré riadia expresiu génov súvisiacich s obranou, čím prispievajú k schopnosti rastliny odolávať rôznym stresorom vrátane tých, ktoré sú indukované nanočasticami /12,13/. Rodina WRKY, charakterizovaná svojou konzervovanou WRKY doménou, sa viaže na špecifické W-box elementy v promótoroch cieľových génov, čím aktivuje alebo potláča ich expresiu v reakcii na vonkajšie podnety vrátane nanočastíc /14/.

V tejto štúdii boli analyzované zmeny expresie vybraných génov WRKY pri foliárnom ošetrovaní ZnO-nanočasticami.

MATERIÁL A METÓDY

V štúdii boli analyzované odrody sóje fazuľovej Mentor a Adelfia. Pokus bol realizovaný na Slovenskej poľnohospodárskej univerzite v Nitre, na pokusných parcelách Vzorovej záhrady poľných plodín - Demonštračnej záhrady SPU v Nitre, ktorá je súčasťou súboru vzorových záhrad Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku SPU v Nitre. Oblasť sa nachádza vo veľmi teplej a suchej nížinnej oblasti. Pôdny typ bol klasifikovaný ako fluvizem a podľa klasifikácie poľnohospodárskych pôd sú pôdy v tejto oblasti veľmi ťažké. Podnebie oblasti je charakterizované ako teplé a suché, s dlhodobou priemernou teplotou 10,2 °C a ročným úhrnom zrážok 539 mm.

Kontrolný variant a varianty so ZnO-NPs a TiO₂-NPs boli náhodne usporiadané do blokov. Listové disperzie nanočastíc ZnO boli aplikované ručným postrekovačom Gamma 5 (Mythos di Martino) s experimentálnou koncentráciou: kontrola bez nanočastíc a varianty s koncentraciami nanočastíc 1,4 mg×L⁻¹, 14 mg×L⁻¹ a 140 mg×L⁻¹ na základe predchádzajúcich experimentálnych výsledkov /4/ v rastovej fáze BBCH 30 (koniec tvorby koncových výhonkov). Vzorky listov sa odoberali v biologických trojiciach deň po ošetrovaní.

RNA bola extrahovaná pomocou GeneAll® Ribospin™ Plant Kit (GeneAll) podľa výrobného protokolu. Kvalita a množstvo extrahovaných nukleových kyselín boli analyzované pomocou nanofotometra (Implen). Reverzná transkripcia sa vykonala z 2620 ng pomocou súpravy Tetro cDNA Synthesis kit s použitím oligo (dT) primerov podľa protokolu výrobcu.

Na analýzu exprese sa použil dvojstupňový protokol PCR v reálnom čase. Gény WRKY *Glycine max* L boli preverené na ich indukciu v podmienkach abiotického stresu z databázy Soybean Genome Project Database (<http://bioinfo03.ibi.unicamp.br/soja/>) a na analýzu ich exprese boli vybrané štyri gény s nasledujúcim prístupovým číslom z Phytozome - Glyma01g31921 (WRKY11), Glyma05g29310 (WRKY 90), Glyma07g02630 (WRKY106) a Glyma15g11680 (WRKY149). Gén aktínu (Glyma18g52780) bol použitý ako kontrolný gén. Na amplifikáciu bol použitý 5x Hot FirePol EvaGreen (Solis BioDyne) a analýza bola realizovaná v termocykléri CFX (Biorad) za týchto reakčných podmienok: počiatočná denaturácia pri 95 °C počas 2 minút, potom 40 cyklov pri 95 °C počas 10 s a 62 °C počas 40 s, po ktorých nasledovala záverečná analýza disociačných kriviek amplikónov.

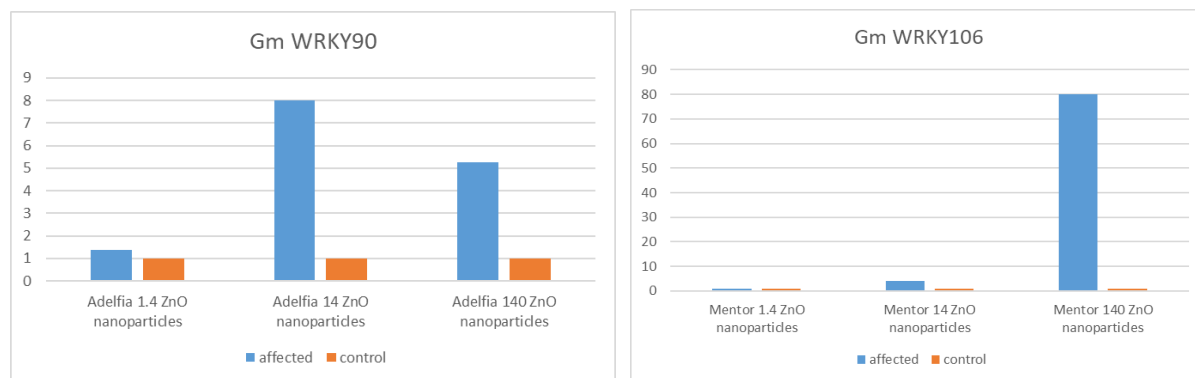
Hodnoty relatívnej exprese boli vypočítané metódou delta-delta Ct v programe MS Excel /15/, keď sa expresia jednotlivých génov WRKY určila ako počet amplifikačných cyklov získaných pri dosiahnutí prahu počas exponenciálnej fázy PCR.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vybrané gény WRKY boli podrobené porovnaniu ich exprese v listoch rastlín ošetrovaných foliárnou aplikáciou ZnO v porovnaní s kontrolnými rastlinami, pretože predstavujú funkčnú časť techniky CDDP použitej v tejto štúdii. Na tento účel sa použili dve rôzne odrody sóje. Účinnosť PCR v reálnom čase pre jednotlivé analyzované gény WRKY bola 0,97 pre WRKY11, 0,90 pre WRKY90, 0,96 pre WRKY106 a 0,94 pre WRKY149. Priemerné Cts pre jednotlivé gény WRKY boli 31,7 pre WRKY11, 33,1 pre WRKY90, 31,8 pre WRKY106 a 35,2 pre WRKY149. Obe analyzované odrody boli v zmenách exprese podobné s výnimkou WRKY90, kde sa získali odlišné profily exprese. V prípade foliárnej aplikácie nanočastíc ZnO v dávke 1,4 mg × l⁻¹ neboli pre gény WRKY11, WRKY106 a WRKY149 zaznamenané žiadne významné zmeny exprese. Najvyššia aplikovaná koncentrácia nanočastíc ZnO viedla k relevantnej upregulácii všetkých analyzovaných génov WRKY s hodnotami od 5-násobku (Adelfia, WRKY 90) až po 80-násobok (Mentor, WRKY 106) (obrázok 1). V žiadnom z analyzovaných variantov sa nedosiahla downregulácia analyzovaných génov.

Profily exprese génu WRKY 11 boli najpodobnejšie v oboch analyzovaných odrodách sóje. Profily exprese WRKY90 vykazovali vyššiu expresiu pri foliárnej aplikácii nanočastíc ZnO v dávke 1,4 mg × l⁻¹ v porovnaní so všetkými ostatnými hodnotenými génmi WRKY a v prípade odrody Adelfia sa pri foliárnej aplikácii nanočastíc ZnO v dávke 14 mg × l⁻¹ expresia zvýšila 8-krát, čo bol jedinečný výsledok.

Úzky rozdiel medzi esenciálnosťou a toxicitou Zn v rastlinách je dobre známy /16/, v sladkých zemiakoch bolo transkriptomickou analýzou identifikovaných celkovo 17 945 diferenciálne exprimovaných génov v dvoch genotypoch pod stresom zinku /17/. Naopak, Zn sa podieľa aj na obranných mechanizmoch rastlín, napríklad transkripčné faktory WRKY s prstom Zn riadia rôzne rastlinné procesy vrátane systémovej získanej rezistencie (SAR) /18/.



Obrázok 1: Porovnanie úrovne exprese vybraných WRKY v listoch dvoch analyzovaných odrôd *Glycine max* v reakcii na foliárnu aplikáciu nanočastíc ZnO..

Mechanizmy, ktorými nanočastice ovplyvňujú expresiu génu WRKY, môžu zahŕňať niekoľko ciest. Jedna z možných ciest zahŕňa aktiváciu signalizačných kaskád, ktoré vedú k fosforylácii proteínov WRKY, čím sa moduluje ich aktivita a stabilita /19,20/. Okrem toho by zapojenie reaktívnych foriem kyslíka (ROS) generovaných nanočasticami mohlo ďalej stimulovať expresiu génov WRKY, keďže je známe, že ROS pôsobia ako signálne molekuly v dráhach stresovej reakcie /13/. Interakcia WRKY proteínov s inými regulačnými prvkami a proteínmi, ako sú napríklad proteíny rezistencie rastlín (R), môže tiež posilniť ich úlohu pri sprostredkovaní reakcií na nanočastice /19, 20/.

Nedávne štúdie naznačili, že aplikácia nanočastíc môže výrazne zmeniť úroveň exprese génov WRKY. Ukázalo sa, že niektoré nanočastice indukujú expresiu špecifických WRKY TF, ktoré sa podieľajú na zvyšovaní odolnosti rastlín voči patogénom a abiotickým stresom, ako je sucho a zasolenie. Zistilo sa, že expresia génov WRKY, ako sú WRKY3 a WRKY4, sa zvyšuje najmä v reakcii na pôsobenie nanočastíc, čo naznačuje, že tieto faktory môžu sprostredkovať obranné mechanizmy rastliny proti stresu vyvolanému nanočasticami /19/. V rastlinách sóje sa získali rôzne vzorce exprese génov WRKY pre genotypy tolerantné voči suchu a citlivé na podmienky vodného stresu a predpokladalo sa ich zapojenie do signalizácie, kontroly génovej exprese, transportéra iónov/protónov a vychytávača reaktívneho kyslíka. Okrem toho sa ukázalo, že gény WRKY, ako napríklad GmWRKY27, zvyšujú toleranciu voči stresu interakciou s inými transkripčnými faktormi, ako napríklad GmMYB174, ktorý moduluje expresiu nadväzujúcich génov zapojených do reakcií na stres /21/. Transkripčné faktory WRKY sú neoddeliteľnou súčasťou reakcie sóje na biotické aj abiotické stresy. GmWRKY40 bol identifikovaný ako pozitívny regulátor v reakcii na infekciu *Phytophthora sojae*, ktorý zvyšuje odolnosť prostredníctvom modulácie signálnych dráh reaktívnych foriem kyslíka a kyseliny jasmónovej /22/. Podobne sa gény WRKY podieľajú na reakcii na podmienky s nízkym obsahom fosforu, pričom špecifické gény vykazujú zmenené vzorce exprese, ktoré prispievajú k tolerancii voči stresu /23/.

Transkripčné faktory WRKY11 v *Glycine max* L. majú rôznu evolučnú zachovalosť a funkčný význam v rôznych úlohách. Expresujú sa v rôznych tkanivách a WRKY11-1, WRKY11-2 a WRKY11-3 boli identifikované ako všadeprítomne exprimované v tkanivách sóje, čo naznačuje ich širokú regulačnú úlohu /24/. Sú aktívne v reakcii na nízky obsah fosforu, keďže gény WRKY v sóji, vrátane ortológov WRKY11, vykazujú významné transkripčné

reakcie na nedostatok fosforu, čo je kľúčové pre vývoj fosforovo efektívnych odrôd sóje /23/. Ich úloha v stresovej reakcii v sóji bola opísaná s ich koexpresnými sieťami, ktoré naznačujú zapojenie do tolerancie voči environmentálnym výzvam /24/. Zistilo sa, že štruktúra expresie génov WRKY v reakcii na deficit vody je odlišná v genotypoch tolerantných voči suchu a citlivých na suchu /25/ a zhoda bola pre túto a našu štúdiu pre gény WRKY106 a WRKY149.

ZÁVER

V tejto štúdii boli analyzované dve odrody sóje a charakterizovaný transkripčný profil štyroch génov WRKY v reakcii na foliárnu aplikáciu nanočastíc ZnO. Vyššia expresia troch zo štyroch analyzovaných génov WRKY pri najvyššej koncentrácii nanočastíc ZnO môže byť dôsledkom ich silnejšej určujúcej úlohy pri preťažení zinkom v *Glycine max* L., teda prečo sa zdá, že dávky pod 100 mg×L⁻¹ nemajú potlačujúci účinok.

LITERATÚRA

- /1/ Usha, T.N., Dadlani, M.: Effect of mid-storage corrective treatments on different vigour lots of soybean seed. *Legume Research*, 38, 2015: 419-421.
- /2/ Jassal, R.K., Singh, H.: Influence of primed seed and varying seed rate on growth and productivity of soybean (*Glycine max* L.) under different planting techniques. *Legume Research*, 43, 2020: 394-400.
- /3/ Delele, T.A., Adugna, A.G., Gelaw, B.M.: Determinants of soybean (*Glycine max*) market supply in Northwestern Ethiopia. *Cogent Economics and Finance*, 10, 2022.
- /4/ Ernst, D., Kolenčík, M., Straka, V., Šebesta, M., Ďurišová, E., Tomovičová, L., Kratošová, G., Ravza, I., Čurná, V.Ž., Černý, I., Qian, Y., Gažo, J., Ducsay, L., Polláková, N., Juriga, M.: Appropriate agro-environmental strategy for ZnO- nanoparticle foliar application on soybean. *Soil Science Annual*, 75, 2024.
- /5/ Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A.: Zinc in plants. *New Phytologist*, 173, 2007, 677-702.
- /6/ Alloway, B.J.: Zinc in SoilS and crop nutrition. www.fertilizer.org. 2008.
- /7/ Gonyane M.B., Sebetha E.T.: The effect of plant density, zinc added to phosphorus fertilizer sources and location on selected yield parameters of soybean. *Legume Research*, 45, 2022: 196-202.
- /8/ Saboor, A., Ali, M.A., Ahmed, N., Skalicky, M., Danish, S., Fahad, S., Hassan, F., Hassan, M.M., Brestic, M., El Sabagh, A., Datta, R.: Biofertilizer-based zinc application enhances maize growth, gas exchange attributes and yield in zinc-deficient soil. *Agriculture*, 11, 2021: 310.
- /9/ Marschner, P.: Marschner's mineral nutrition of higher plants: Third edition. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*, 2011:1-651.
- /10/ Shiade, S.R.G., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., Rahimi, R., Minkina, T., Rajput, V.D., Zulfiqar, U., Chaudhary, T.: Plant metabolites and signaling pathways in response to biotic and abiotic stresses: Exploring bio stimulant applications. In *Plant Stress*. 12. Elsevier B.V., 2024: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100454>.
- /11/ Eulgem, T., Somssich, I.E.: Networks of WRKY transcription factors in defense signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 2007: 366-371.
- /12/ Lei, L., Dong, K., Liu, S., Li, Y., Xu, G., Sun, H.: Genomewide identification of the WRKY gene family in blueberry (*Vaccinium* spp.) and expression analysis under abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 15, 2024: 1447749.
- /13/ Li, M., Che, X., Liang, Q., Li, K., Xiang, G., Liu, X., Zhao, Y., Wei, F., Yang, S., Liu, G.: Genome-wide identification and characterization of WRKYs family involved in responses to *Cylindrocarpon destructans* in *Panax notoginseng*. *BMC Genomics*, 26, 2025: 1-21.
- /14/ Zhang, T., Xu, Y., Ding, Y., Yu, W., Wang, J., Lai, H., Zhou, Y.: Identification and expression analysis of WRKY gene family in response to abiotic stress in *Dendrobium catenatum*. *Frontiers in Genetics*, 13, 2022: 800019.
- /15/ Livak, K.J., Schmittgen, T.D.: Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT method. *Methods*, 25, 2001: 402-408.
- /16/ Kaur, H., Garg, N.: Zinc toxicity in plants: A review. *Planta*, 253, 2021: 1-28.
- /17/ Meng, Y., Xiang, C., Huo, J., Shen, S., Tang, Y., Wu, L.: Toxicity effects of zinc supply on growth revealed by physiological and transcriptomic evidences in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Scientific Reports*, 13, 2023: 1-13.

- /18/ Rushton, P.J., Somssich, I.E., Ringler, P., Shen, Q. J.: WRKY transcription factors. Trends in Plant Science, 15, 2010: 247-258.
- /19/ Liu, X. M., Yuan, Z. G., Rao, S., Zhang, W.W., Ye, J.B., Cheng, S.Y., Xu, F.: Identification, characterization and expression analysis of WRKY transcription factors in *Cardamine violifolia* reveal the key genes involved in regulating selenium accumulation. BMC Plant Biology, 24, 2024: 1-16.
- /20/ Ma, Z., Hu, L.: WRKY transcription factor responses and tolerance to abiotic stresses in plants. International Journal of Molecular Sciences, 25, 2024: 6845
- /21/ Wang, F., Chen, H.W., Li, Q.T., Wei, W., Li, W., Zhang, W.K., Ma, B., Bi, Y.D., Lai, Y.C., Liu, X.L., Man, W. Q., Zhang, J.S., Chen, S.Y.: GmWRKY27 interacts with GmMYB174 to reduce expression of GmNAC29 for stress tolerance in soybean plants. Plant Journal, 83, 2015: 224-236.
- /22/ Cui, X., Yan, Q., Gan, S., Xue, D., Wang, H., Xing, H., Zhao, J., Guo, N.: GmWRKY40, a member of the WRKY transcription factor genes identified from *Glycine max* L., enhanced the resistance to *Phytophthora sojae*. BMC Plant Biology, 19, 2019: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2132-0>.
- /23/ Kurt, F., Filiz, E.: Biological network analyses of WRKY transcription factor family in soybean (*Glycine max*) under low phosphorus treatment. Journal of Crop Science and Biotechnology, 23, 2020: 127-136.
- /24/ Mohanta, T.K., Park, Y.H., Bae, H., Novel genomic and evolutionary insight of WRKY transcription factors in plant lineage. Scientific Reports, 6, 2016: <https://doi.org/10.1038/SREP37309>.
- /25/ Dias, L.P., de Oliveira-Busatto, L.A., Bodanese-Zanettini, M.H.: The differential expression of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] WRKY genes in response to water deficit. Plant Physiology and Biochemistry, 107, 2016: 288-300.

Pod'akovanie

Táto štúdia bola podporená Grantovou agentúrou Slovenskej poľnohospodárskej univerzity (GA SPU), projekt č. 13-GA-SPU-2024 Variabilita génovej expresie v environmentálnej odpovedi rastlín na aplikáciu mikroelementov a Plánom obnovy a zvýšenia odolnosti Slovenska, projekt č. 09I03-03-V05-00018 - Early Stage Grants na SPU v Nitre.

MOLEKULÁRNA ODPOVEĎ LÁSKAVCA NA APLIKÁCIU Cd A Si MAPOVANÁ NA ÚROVNI POLYMORFIZMU KÓDUJÚCICH OBLASTÍ

MOLECULAR RESPONSE OF AMARANTH TO Cd AND Si APPLICATION MAPPED ON THE LEVEL OF CODING SEQUENCES

Jana Žiarovská, Dagmar Moravčíková

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FAPZ, Inštitút rastlinných a
environmentálnych vied, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra, jana.ziarovska@uniag.sk

Summary

Amaranthus species may be used for phytoremediation purposes. In this study, two distinct DNA marker techniques, including cytochrome P450 mono-oxygenase analogues (PBA) and conserved DNA-derived polymorphism (CDDP) for WRKY genes, were used to analyze the effects of cadmium (Cd) treatment and Cd treatment with addition of silicon (Si) on *Amaranthus hypochondriacus* L. × *Amaranthus hybridus* L. var. Plainsman, in the context of the molecular genomic response. It has been demonstrated that both marker approaches may identify the reaction to biotic and abiotic stressors. Compared to PBA, more abundant genetic profile diversity was obtained using the CDDP marker technique. However, the PBA's BF (forward primer) + BR (reverse primer) amplified the greatest number of loci.

Key words: amaranthus, heavy metals, stress, polymorphism

Súhrn

Druhy rodu *Amaranthus* sú vhodné na fytoremediačné účely. V tejto štúdii sa na analýzu účinkov kadmia (Cd) a ošetrenia Cd s prídavkom kremíka (Si) na *Amaranthus hypochondriacus* L. × *Amaranthus hybridus* L. var. Plainsman v kontexte molekulárnej genomickej odpovede použili dve odlišné techniky DNA markerov, analógy monooxygenázy cytochrómu P450 (PBA) a konzervovaný polymorfizmus odvodený od génov WRKY (CDDP). Obe markérové techniky môžu identifikovať reakciu na biotické a abiotické stresory. V porovnaní s PBA sa pomocou markerovej techniky CDDP získala bohatšia diverzita genetického profilu. Pri PBA však BF (priamy primer) + BR (reverzný primer) amplifikovali najväčší počet lokusov.

Kľúčové slová: láskavec, ťažké kovy, stres, polymorfizmus

ÚVOD

Fytoremediácia sa opiera o schopnosť rastlín akumulovať kovy v rôznych častiach rastliny. *Amaranthus* spp. je jedným z rodov, ktoré vykazujú potenciál akumulácie ťažkých kovov /1/, a to v rôznych častiach rastliny (koreň, stonka a list). Bola študovaná reakcia *Amaranthus hypochondriacus* L. x *Amaranthus hybridus* L. var. Plaisman na stres spôsobený rôznymi koncentráciami Cd už a boli zistené zmeny v expresii niektorých génov, ktoré môžu súvisieť so schopnosťou reagovať na tento stres /2/. Aby bola fytoremediácia čo

najefektívnejšia, existujú spôsoby, ako zvýšiť jej účinnosť a chrániť rastliny pred toxicitou Cd. Ošetrovanie Si zlepšilo rast *Oryza sativa* L. a toleranciu voči stresu tým, že znížilo toxicitu Cd, zlepšilo funkciu koreňov, znížilo absorpciu kovov, modulovalo stresové fytohormóny a regulovalo expresiu génov transportujúcich ťažké kovy a Si /3/.

Identifikáciou a štúdiom genetickej diverzity rastlín sme schopní pochopiť molekulárny základ rôznych biologických javov. DNA markéry sú stále využívanou metódou v základných genomických štúdiách a aplikovanom šľachtení rastlín. Dôvody pre výber konkrétnej techniky závisia od typu študovanej rastliny, cieľa výskumu a dostupnosti potrebných zdrojov /4/. Yamanka et al. /5/ vyvinuli techniku PBA markérov určených pre analýzu dĺžkového polymorfizmu génov cytochrómu P450 (CYP), ktorá je pre rastliny použiteľná univerzálne. Variabilita je daná náhodným rozložením regiónov cytochrómu P450 amplifikovaných univerzálnymi primérami, ktoré sa zameriavajú na CYP miesta v rastlinách /4/. Sekvenovanie novej generácie odhalilo, že gény pre CYP sú ovplyvnené abiotickým stresom /6/. Ďalšia technika DNA markerov pozostáva zo súboru viacerých primerov navrhnutých pre dobre študované gény, o ktorých je známe, že sú ovplyvnené abiotickým a biotickým stresom. Primery CDDP boli navrhnuté na konzervovaných oblastiach DNA a medzi génmi, na ktoré boli navrhnuté, sú gény pre WRKY /7/, auxín-viažuci proteín (ABP1), MADS /8/, homeobox gény, ktoré fungujú ako transkripčné faktory s unikátnou doménou KNOX /9/ a ERF /10/.

Cieľom tejto štúdie bolo analyzovať polymorfizmus sledovaný PBA a CDDP technikami v listoch láskavca rastúceho pod rôznymi kombináciami Cd a Si.

MATERIÁL A METÓDY

Experimenty s rastlinami v pôde (AGRO záhradnícky substrát s aktívnym humusom) a hydroponických systémoch boli vykonávané v kontrolovanom prostredí v komore na pestovanie rastlín, nastavenej na 23 °C s 16-hodinovým svetelným a 8-hodinovým tmavým cyklom a 50 % vlhkosťou. V hydroponických experimentoch boli rastliny amarantu najskôr pestované v pôde, kým nedosiahli štádium 4–5 listov. V tomto bode boli presadené do hydroponického živného roztoku Hoagland /11/ na 7-dňové aklimatizačné obdobie. Po aklimatizácii boli rastliny vystavené pôsobeniu Cd (CdCl_2) a Si (Na_2SiO_3) počas 14 dní, čo v hydroponickom systéme predstavovalo celkovo 21 dní.

Na analýzu boli použité iba listy. Na analýzu boli použité nasledujúce ošetrovania s nasledujúcou koncentráciou: 5 mg.L^{-1} Si, 10 mg.L^{-1} Si, 15 mg.L^{-1} Cd, 15 mg.L^{-1} Cd + 5 mg.L^{-1} Si a 15 mg.L^{-1} Cd + 10 mg.L^{-1} Si. V analýze boli použité tri biologické replikáty každého ošetrovania.

Na izoláciu DNA bola použitá súprava EliGene® Plant DNA Isolation Kit (Elisabeth PharmaconTM). Po extrakcii DNA bola koncentrácia a čistota DNA meraná spektrofotometrom NanoPhotometerTM (Implen 360). Koncentrácia DNA v každej vzorke bola normalizovaná na rovnakú hodnotu 20 ng celkovej DNA v každej vzorke.

Na analýzu PBA bol použitý 2× Elizyme HS Robust Mix. Na jednu reakciu sme použili 5 μl 2× Elizyme HS Robust Mix, 1 000 nM každého priameho a spätného priméra a 3 μl DNA (20 $\text{ng}.\mu\text{l}^{-1}$) v celkovom objeme 10 μl . Tepelný cyklus pozostával z nasledujúcich krokov: počiatočná denaturácia pri 95 °C po dobu 5 minút, potom 45 cyklov (95 °C po dobu 1 minúty, 50 °C po dobu 1 minúty, 72 °C po dobu 2 minút) a konečná elongácia pri 72 °C po dobu 10 minút.

Na analýzu CDDP bol použitý 5 µl mastermix 2× Elizyme HS Robust Mix, 1 000 nM každého priameho a spätného primera, 2 µl vody bez nukleázy a 1 µl DNA (20 ng. µl⁻¹). Tepelný cyklus pozostával z nasledujúcich krokov: počiatočná denaturácia pri 95 °C počas 5 minút, potom 35 cyklov (95 °C po dobu 45 sekúnd, 54 °C po dobu 45 sekúnd, 72 °C po dobu 1 minúty) a 30 sekúnd a konečná extenzia pri 72 °C po dobu 10 minút.

PCR reakcie boli uskutočnené v termocykléri TProfessional Basic gradient XL (Biometra). Po PCR amplifikácii boli vzorky nanesené na agarózový gél (2 %) a po 3 hodinách bol gél vizualizovaný pomocou kamery (OLYMPUS 7070). Binárne matice boli generované z elektroforogramu pomocou nástroja GelAnalyzer (GelAnalyzer 23.1.1) /12/.

Na výpočet indexov variability z binárnej matice bol použitý kalkulátor efektívnosti (iMEC) /13/ na posúdenie polymorfizmu, konkrétne polymorfný informačný obsah (PIC) a diskriminačnú silu (D). Tieto indexy sú založené na kodominantných DNA markeroch /13/. Matica Jaccardovej vzdialenosti bola potom vytvorená z binárnej matice v prostredí R studio /14/ pomocou balíka „vegan“ verzie 2.6-4 /15/ a pomocou funkcie „vegdist“.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na detekciu variability medzi rastlinami *Amaranthus hypochondriacus* L. × *Amaranthus hybridus* L. var. Plainsman ošetrovanými Cd a tiež s pridaním Si boli použité dve markérovacie techniky, PBA a CDDP. V tabuľke 1 je uvedený celkový počet fragmentov, D a PIC. Najvyšší počet fragmentov bol dosiahnutý použitím prajmerovej kombinácie BR + BF. Bolo amplifikovaných celkovo 169 fragmentov. Najnižší počet bol pozorovaný pri použití techniky CDDP markera s použitím priméru R3B. Hodnota PIC sa pohybuje od 0 do 1 a čím je číslo bližšie k 1, tým je variabilita vyššia /16/. D nám udáva pravdepodobnosť, že dva náhodne vybrané jedince vykazujú odlišný počet fragmentov a sú tak od seba odlišiteľné /17/. Hodnoty sa pohybujú v rozmedzí od 0,280 do 0,373, čo naznačuje, že medzi vzorkami nie je vysoká variabilita.

Detekciou polymorfizmu pomocou techniky PBA s tromi kombináciami primerov AF + AR, BF + BR a CF + CR sa zistilo, že existovala nízka variabilita medzi ošetrovaniami v *Amaranthus hypochondriacus* L. × *Amaranthus hybridus* L. var. Plainsman, ktorý bol ošetrovaný Cd s pridaním Si a bez neho. Pri vyhodnotení v teplotných mapách sa mnohokrát opakovala hodnota 0,000, čo znamená, že dané vzorky sú identické z hľadiska množstva a veľkosti fragmentov, ktoré sme dokázali zachytiť v rastlinách pomocou kombinácií primerov. V analýze boli použité tri biologické opakovania pre daný faktor.

Technika CDDP je druhou markerovou technikou použitou v tejto práci. V tejto technike bolo použitých päť kombinácií primérov F1 + R1, R2, R2B, R3 a R3B. V porovnaní s markerovou technikou PBA sme pomocou techniky CDDP získali viac polymorfných profilov, najmä pre kombinácie primérov R2, R2B a R3. Prvá kombinácia primérov použitá v analýze bola F + R1. Pri tejto kombinácii sme nezaznamenali žiadnu variabilitu medzi rastlinami ovplyvnenými výlučne Si. Kombinácia Si a Cd však vykazovala variabilitu medzi rastlinami. Kontrolná rastlina (kontrola 1) vykazovala odlišný profil od všetkých rastlín použitých v analýze s výnimkou jednej rastliny ošetrenej 15 mg.L⁻¹ Cd. Ostatné kontrolné rastliny (kontroly 2 a 3) sa líšili v počte a veľkosti fragmentov v porovnaní so všetkými rastlinami ovplyvnenými iba Si a vykazovali variabilný profil v porovnaní s ostatnými variantmi v porovnaní s rastlinami s 15 mg.L⁻¹ Cd a 15 mg.L⁻¹ Cd + 5 mg.L⁻¹ Si. Celkový rozdiel medzi variantmi používajúcimi

tento primer sa pohyboval od 0,00 (označujúce identické profily) do maximálne 0,43. Použitie kombinácie primérov F + R2 nám poskytlo oveľa variabilnejší profil medzi variantmi rastlín. Vzdialenosť medzi variantmi sa pohybovala od 0,20 do 0,75. V tomto prípade môžeme vidieť, že aj medzi biologickými replikátmi bola biologická variabilita týchto rastlín zachytená v každom prípade.

Najväčšia variabilita bola zaznamenaná medzi rastlinami ošetrovanými 5 mg.L⁻¹ Si a 15 mg.L⁻¹ Cd + 10 mg.L⁻¹ Si, kontrolnou rastlinou (3 kontrola) a rastlinou ošetrovanou 15 mg.L⁻¹ Cd v kombinácii s 15 mg.L⁻¹ Cd + 10 mg.L⁻¹ Si, kontrolnou (1 kontrolná) a 15 mg.L⁻¹ Cd + 10 mg.L⁻¹ Si. O niečo viac fragmentov, 167, bolo amplifikovaných pomocou kombinácie primérov F + R2B. Vzdialenosť medzi rastlinami sa pohybovala od 0,17 do 0,77.

Tab. 1: Charakteristika polymorfického informačného indexu a diskriminačnej sily markérov použitých v štúdiu

Primer	Number of fragments	D	PIC
PBA			
AF + AR	150	0,519	0,334
BF + BR	169	0,657	0,367
CF + CR	99	0,384	0,280
CDDP			
R1 + F1	103	0,489	0,324
R2 + F1	105	0,868	0,356
R2B + F1	167	0,703	0,373
R3 + F1	122	0,681	0,371
R3B + F1	97	0,711	0,373

AF, BF, CF znamená priame prajmery, AR, BR, CR znamená spätné prajmery pre PBA; R1, R2, R2B, R3, R3B znamená spätné prajmery a F1 je priamy prajmer pre CDDP.

Vyššia variabilita (vzdialenosť 0,77) sa vyskytla medzi rastlinami ošetrovanými 15 mg.L⁻¹ Cd a 5 mg.L⁻¹ Si. Zaujímavé je, že vzdialenosť 0,77 sa vyskytla aj medzi rastlinami s 10 mg.L⁻¹ Si a 5 mg.L⁻¹ Si, 10 mg.L⁻¹ Si, 10 mg.L⁻¹ Si a 10 mg.L⁻¹ Si. To naznačuje pomerne veľkú variabilitu medzi rastlinami ovplyvnenými Si. Vzdialenosť medzi rastlinami používajúcimi kombináciu primérov F + R3 sa pohybuje od 0,11 do 0,71. Medzi rastlinami ošetrovanými 15 mg.L⁻¹ Cd + 10 mg.L⁻¹ Si a 10 mg.L⁻¹ Si a 10 mg.L⁻¹ Si a vzdialenosť 0,71 bola zaznamenaná u rastlín ošetrovaných 15 mg.L⁻¹ Cd a 5 mg.L⁻¹ Si. Niekoľko zhodných profilov bolo zosilnených použitím kombinácie primérov F + R3B, o čom svedčí vzdialenosť na úrovni 0,00 v tepelnej mape. Avšak medzi kontrolnou rastlinou (1 kontrola) a rastlinami ošetrovanými iba Si v rôznych koncentráciách a rastlinami ošetrovanými Cd + Si. Zaujímavé je, že najväčší rozdiel medzi kontrolnými rastlinami (1 kontrolná a 2 kontrolné) naznačuje, že dve biologické replikáty kontrolnej skupiny sa od seba líšia na genómovej úrovni viac ako ostatné varianty.

Koncentrácia 15 mg.L⁻¹ je najvyššia koncentrácia, ktorá nespôsobila poškodenie rastlín. Koncentrácie 30 mg.L⁻¹ a viac spôsobujú smrteľný účinok /2/. Prah toxicity Cd sa u rastlín líši a závisí od viacerých faktorov, ako sú druh, ekotyp a kultivar /18/. Výsledky ukazujú, že medzi

vzorkami, pri ktorých sa použili rôzne kombinácie primérov, existuje len malá variabilita. Zo štúdie Lancíková et al. /2/ je známe, že *Amaranthus hypochondriacus* L. × *Amaranthus hybridus* L. var. Plainsman akumuluje Cd v koncentrácii 15 mg.L⁻¹ prevažne v koreňoch, nie v listoch, a translokačný faktor (TF) klesal so zvyšujúcim sa množstvom Cd. Ošetrovanie 15 mg.L⁻¹ Cd v kombinácii s 5 mg.L⁻¹ a 10 mg.L⁻¹ Si vykazovali výrazné účinky na profily rastlín pri použití dvoch rôznych techník DNA markerov. Rozdiely v reakcii na tieto koncentrácie Si naznačujú, že Si môže modulovať toxicitu Cd spôsobom závislým od koncentrácie ovplyvňovaním génomovej variability. Nakoniec však nebola zistená žiadna veľmi významná variabilita medzi variantmi, čo môže byť spôsobené skutočnosťou, že výskum iných rastlín ukázal, že pridaním Si sa Cd hromadí hlavne v koreňoch, čím sa zabraňuje jeho transportu do nadzemných častí rastliny. Negatívny vplyv Cd na génomovej úrovni bol pozorovaný aj pri použití iných techník DNA markerov, ako je RAPD, a bol tiež skúmaný v hyperakumulačnej rastline *Sedum alfredii* L. /19/, avšak pri pozorovaní vplyvu Si v spojení s Cd sa častejšie používa monitorovanie na transkriptomickú úroveň /20/.

ZÁVER

Zistenia získané v štúdiu poukazujú na vzájomné pôsobenie koncentrácií Cd a Si a ich vplyv na génomovú variabilitu, ako aj na rozdiely medzi biologickými replikátmi. Táto variabilita môže byť spôsobená prirodzenými biologickými rozdielmi medzi rastlinami, aj keď sú vystavené rovnakým kontrolným podmienkam.

LITERATÚRA

- /1/ Tőzsér, D. et al.: A meta-analysis on the heavy metal uptake in *Amaranthus* species. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30, 85102–85112.
- /2/ Lancíková, M. et al.: Morphological responses and gene expression of grain Amaranth (*Amaranthus* spp.) growing under Cd. *Plants*, 2020, 9, 572.
- /3/ Kim, Y. H. et al.: Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biology*, 2014, 14, 13.
- /4/ Amiteye, S.: Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. *Heliyon*, 7, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08093>
- /5/ Yamanaka, S. et al.: Assessment of cytochrome P450 sequences offers a useful tool for determining genetic diversity in higher plant species. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, 108, 1–9.
- /6/ Pandian, B. A. et al.: Role of Cytochrome P450 Enzymes in Plant Stress Response. *Antioxidants*, 2020, 9, 454.
- /7/ Xie, Z. et al.: Annotations and functional analyses of the rice WRKY gene superfamily reveal positive and negative regulators of abscisic acid signaling in aleurone cells. *Plant Physiology*, 2005, 137, 176–189.
- /8/ Lim, J. et al.: Two rice MADS domain proteins interact with OsMADS1. *Plant Molecular Biology*, 200, 44, 513–527.
- /9/ Nagasaki, H. et al.: Functional Analysis of the Conserved Domains of a Rice KNOX Homeodomain Protein, OSH15. *The Plant Cell*, 2001, 13, 2085–2098.
- /10/ Gutterson, N., Reuber, T. L.: Regulation of disease resistance pathways by AP2/ERF transcription factors. *Current Opinion in Plant Biology*, 2004, 7, 465–471.
- /11/ Arnon, D. I., Hoagland, D. R.: The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil, California Agricultural Experiment Station, 1950, Circular-347.
- /12/ GelAnalyzer 23.1.1 (available at www.gelanalyzer.com) by Istvan Lazar Jr., PhD and Istvan Lazar Sr., PhD, CSc
- /13/ Amirousséfi, A., Hyvönen, J., Poczei, P.: iMEC: Online Marker Efficiency Calculator. *Applications in Plant Sciences*, 6, 2018, <https://doi.org/10.1002/aps3.1159>
- /14/ RStudio Team 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- /15/ Oksanen J. et al. 2022. Package vegan version 2.6-4. Publisher: The Comprehensive R Archive Network. <http://cran.r-project.org>

- /16/ Botstein, D., White, R. L., Skolnick, M., Davis, R. W.: Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*, 1980, 32, 314–331.
- /17/ Tessier, C. et al.: Optimization of the choice of molecular markers for varietal identification in *Vitis vinifera* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 1999, 98, 171–177.
- /18/ Ismael, Marwa A. et al.: Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*, 2019, 11, 255–277.
- /19/ Deng, J. et al.: The effects of heavy metal pollution on genetic diversity in zinc/cadmium hyperaccumulator *Sedum alfredii* populations. *Plant and Soil*, 2007, 297, 83–92.
- /20/ Kabir, A. H. et al.: Role of silicon counteracting cadmium toxicity in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7, 1117.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory VEGA 2/0013/22 Plasticita láskavca v odpovedi na ťažké kovy: viacstupňová analýza od ekofyziologických po molekulárne aspekty.

HYDROABSORBENT AKO STRESOVÝ FAKTOR***HYDROABSORBENT AS A STRESS FACTOR***

Peter Kovár, Ľuboš Vozár, Peter Hric, Marek Rašovský

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FAPZ, Ústav rastlinnej produkcie,
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, peter.kovar@uniag.sk

Summary

In a pot experiment, the effect of different doses of the hydroabsorbent Aquaholder on the growth and production parameters of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) was evaluated. The experiment included five treatments with doses of 0, 30, 60, 90 and 120 g.m⁻². Plant height, average daily height gain, production of dry aboveground phytomass, average daily weight gain and the number of tillers were monitored. The results showed that the application of Aquaholder at a dose of 60 g.m⁻² led to a statistically significant improvement in all evaluated indicators compared to the control. Higher doses (90 and 120 g.m⁻²) had a rather inhibitory effect, which confirms the possible negative impact of excessive amounts of hydroabsorbent, probably due to water stress of the plants.

Key words: growth, hydroabsorbent, production, water stress

Súhrn

V nádobovom pokuse sa hodnotil vplyv rôznych dávok hydroabsorbentu Aquaholder na rastové a produkčné parametre mätonohu trvaceho (*Lolium perenne*). Experiment zahŕňal päť variantov s dávkami 0, 30, 60, 90 a 120 g.m⁻². Sledovala sa výška rastlín, priemerný denný prírastok výšky, produkcia suchej nadzemnej fytohmoty, priemerný denný prírastok hmotnosti a počet odnoží. Výsledky ukázali, že aplikácia Aquaholderu do dávky 60 g.m⁻² viedla k štatisticky preukaznému zlepšeniu všetkých sledovaných ukazovateľov v porovnaní s kontrolou. Vyššie dávky (90 a 120 g.m⁻²) mali skôr inhibičný efekt, čo potvrdzuje možné negatívne pôsobenie nadmerného množstva hydroabsorbentu pravdepodobne v dôsledku vodného stresu rastlín.

Kľúčové slová: hydroabsorbent, produkcia, rast, vodný stres

ÚVOD

V kontexte prebiehajúcich globálnych klimatických zmien čelia pestovatelia trávnikov čoraz častejším problémom s nedostatkom vlhky, čo má negatívny dopad na kvalitu trávnatých porastov. Jednou z možných stratégií adaptácie je výber druhov tráv s vyššou odolnosťou voči suchu, ako aj využívanie teplomilných tráv pri zakladaní trávnikov. Zároveň sa ukazuje ako efektívne obohacovanie trávnikovými zmesami o drobnolisté kultivary d'ateliny plazivej či cieleňé zavádzanie endofytných húb špecifických kmeňov do trávnych odrôd, čo potvrdzujú viaceré štúdie [1, 12, 13]. Ďalším perspektívnym riešením je aplikácia pôdných pomocných látok, tzv. hydroabsorbentov, ktoré prispievajú k zlepšeniu fyzikálnych vlastností pôdy a substrátov pri

zakladaní trávnikov. Tieto látky sú schopné viazať viac než stonásobok svojej hmotnosti vo vode, čím zvyšujú vodnú kapacitu pôdy, redukujú nároky na zavlažovanie a zefektívňujú využitie živín z aplikovaných hnojív /9/. Okrem toho podporujú rozvoj koreňového systému, čo priaznivo ovplyvňuje regeneračnú schopnosť a estetickú hodnotu trávnikaja pri znížených vstupoch. Pôdne kondicionéry zároveň prispievajú k tvorbe stabilnejších a väčších pôdnych agregátov prostredníctvom ich tmelivých účinkov /15/. Uplatnenie nachádzajú najmä pri zatrávňovaní extrémnych stanovišť alebo pri zlepšovaní štruktúry degradovaných či málo úrodných pôd, ako sú suché piesočnaté substráty, kde bol ich efekt jednoznačne pozitívny /18/.

Podľa dostupných údajov /5/ mal napríklad pôdny kondicionér Stockosorb® 500 Micro priaznivý vplyv na nadzemnú a podzemnú biomasu, počet odnoží a výšku rastlín vybraných trávnych druhov. Podobne priaznivý účinok bol zaznamenaný aj pri použití prípravku Agrosil LR, ktorý podporil tvorbu mohutnejšieho a hlbšieho koreňového systému trávnikov /19/. Na druhej strane nesmieme zabúdať na to, že nesprávne použitie hydroabsorbentov môže pôsobiť na rastliny stresujúco. Ich negatívny vplyv sa prejavuje najmä, ak sú aplikované vo väčšom množstve ako odporúča výrobca. Nadmerná koncentrácia môže zadržať vodu, ktorá nie je dostupná pre rastliny, čo paradoxne vedie k vodnému stresu /10, 12/, prípadne môže zmeniť pôdnu mikrobiálnu aktivitu /22, 3/, alebo negatívne ovplyvniť štruktúru a pórovitosť pôdy vedúce k zníženiu prevzdušnenia a následnému stresu koreňového systému /2, 7/. Taktiež nadbytok hydroabsorbentu v pôde môže mať za následok aj zníženie klíčivosti semien, pravdepodobne v dôsledku nedostatku kyslíka /4/. Cieľom príspevku je zhodnotiť vplyv rôznych dávok hydroabsorbentu na vybrané rastovo-produkčné parametre modelového trávneho druhu s poukázaním na potenciálny stresový účinok pri jeho nadmernej aplikácii.

MATERIÁL A METÓDY

Pokus sa realizoval na Ústave rastlinnej produkcie (pracovisko Katedra rastlinnej výroby a trávnych ekosystémov), FAPZ SPU v Nitre.

Porast bol založený 21.4.2015 výsevom osiva mätonohu trváceho (*Lolium perenne* L.) do zakoreňovačov. Po 5 týždňoch od sejby (26.5.2015) boli vzídené rastliny pretrhané na konečný počet 5 rastlín. Presadenie rastlín zo zakoreňovačov do nádob s objemom 2 dm³ a plochou v hornej časti 0,0144 m² v 4 opakovaníach sa uskutočnilo 3.6.2015. Hydroabsorbent Aquaholder v množstve podľa variantov sa pred presadením rastlín premiešal so zeminou (jej chemické zloženie dokumentuje tabuľka 1). Po presadení sa rastliny poliali a v ďalšom období boli zavlažované dávkou 100 ml vody na nádobu 2x týždenne (utorok a piatok). Nádoby boli umiestnené v exteriéri (balkón) s obmedzením atmosférických zrážok. V experimente boli sledované nasledovné varianty:

- variant 1 (A₀): kontrola (bez Aquaholderu);
- variant 2 (A₃₀): Aquaholder v dávke 30 g.m⁻² (0,432 g.nádoba⁻¹);
- variant 3 (A₆₀): Aquaholder v dávke 60 g.m⁻² (0,864 g.nádoba⁻¹);
- variant 4 (A₉₀): Aquaholder v dávke 90 g.m⁻² (1,296 g.nádoba⁻¹);
- variant 5 (A₁₂₀): Aquaholder v dávke 120 g.m⁻² (1,728 g.nádoba⁻¹).

Charakteristika použitého hydroabsorbentu:

Aquaholder – moderný, ekologický a ekonomicky akceptovateľný superabsorbent, ktorý umožňuje znížiť spotrebu vody, frekvenciu zalievania a zlepšovať stav rastlín. Kryštáliky Aquaholderu zmiešané s pôdou pri kontakte s vodou napučia na veľké gélové častice, v ktorých

sa zadržiava voda a v nej rozpustené živiny. Aquaholder dokáže viazať 200 – 500-násobné množstvo vody, zlepšuje porozitu a prevzdušnenie pôdy a v pôde pôsobí viac ako 5 rokov /11/.

Tab. 1 Agrochemické zloženie pôdy použitej v experimente

Nt	P	K	Mg	Ca	Na	C _{ox}	pH
mg.kg ⁻¹						g.kg ⁻¹	–
4067,07	71,53	538,78	716,29	6720,00	556,52	44,1	6,70

Prvé meranie a odber fytohmoty sa robili 29.7.2015, druhé meranie a odber sa uskutočnili o dva mesiace neskôr a to 29.9.2015. Porasty boli strihané nožnicami v uvedených termínoch na výšku 50 mm. Pred každým strihaním sa stanovila výška rastlín v každom opakovaní. Priemerný denný prírastok výšky (mm.deň⁻¹) bol vypočítaný podľa vzťahu:

$$PDP_v = (\text{priemerná výška pri strihaní v mm} - 50 \text{ mm}) / \Delta t,$$

kde PDP_v je priemerný denný prírastok výšky, Δt je počet dní dorastania.

Na zistenie produkcie sa nadzemná fytohmota v každej nádobe zostrihala nožnicami a po vysušení pri 105 °C do konštantnej hmotnosti bola odvážená. Celková úroda nadzemnej fytohmoty (g.m⁻²) sa určila ako suma hmotností fytohmoty z jednotlivých odberov. Priemerný denný prírastok hmotnosti nadzemnej fytohmoty (g.deň⁻¹.m⁻²) bol vypočítaný podľa vzťahu:

$$PDP_{hm} = \text{priemerná produkcia fytohmoty pri odbere} / \Delta t,$$

kde PDP_{hm} je priemerný denný prírastok hmotnosti nadzemnej fytohmoty, Δt je počet dní dorastania.

Po zostrihaní nadzemnej fytohmoty sa spočítaním zistil počet živých odnoží v každej nádobe.

Získané údaje sa vyhodnotili v programe Statistica /17/ jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA) s následným testovaním preukaznosti rozdielov Fischerovým LSD testom pri 95% hladine pravdepodobnosti ($\alpha = 0,05$). Grafické spracovanie výsledkov bolo pomocou programu MS Excel.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Prezentované výsledky (tabuľka 2) ukazujú, že priemerná výška rastlín mätonohu trváceho sa pohybovala od 362,50 mm (A₀) do 425,83 mm (A₆₀), čo korešponduje aj s jeho všeobecnými biologickými vlastnosťami, keďže mätonoh trváci sa zaraďuje medzi trávy nízke /6, 16/. Dalo by sa predpokladať, že s narastajúcou dávkou hydroabsorbentu Aquaholder v substráte bude narastať aj výška rastlín. Tento predpoklad sa potvrdil len čiastočne, nakoľko výška rastlín sa s rastúcou dávkou Aquaholderu zvyšovala len do úrovne 60 g.m⁻² Aquaholderu. Vyššia dávka hydroabsorbentu (A₉₀, A₁₂₀) pôsobila skôr inhibične. S výrazne nižším a zároveň preukazným rozdielom ($p = 0,007308$) sa odlišoval len kontrolný variant bez Aquaholderu (A₀) od ostatných variantov.

Podobne preukazne ($p = 0,006584$) bola ovplyvnená aj denná intenzita rastu do výšky, ktorej priemerné hodnoty sa pohybovali od 5,24 mm.deň⁻¹ (A₀) do 6,37 mm.deň⁻¹ (A₆₀). Podľa Klasifikátora pre trávy /19/ je to veľmi vysoká intenzita rastu, čo z trávnikárskeho hľadiska možno hodnotiť menej pozitívne /8/. Rovnako ako pri predchádzajúcom hodnotenom znaku možno konštatovať stimuláciu denných prírastkov výšky použitím Aquaholderu do dávky

60 g.m⁻². Další zvýšení dávky hydroabsorbentu působilo mírně inhibičně. Podobný výsledek vo svojom experimente s pôdnymi kondicionérmí dosiahli aj /21, 5/.

Tab. 2: Priemerné hodnoty jednotlivých hodnotených ukazovateľov mätonohu trváceho

Variant	Hodnotený ukazovateľ				
	Výška rastliny (mm)	PDPv (mm.deň ⁻¹)	Produkcia suchej nadzemnej fyto­masy (g.m ⁻²)	PDP­hm (g.deň ⁻¹ .m ⁻²)	Počet odnoží (ks.nádoba ⁻¹)
A ₀	362,50 a*	5,24 a	70,37 a	0,99 a	15,08 a
A ₃₀	405,00 bc	5,99 ab	92,59 c	1,43 b	19,33 b
A ₆₀	425,83 c	6,37 b	92,43 c	1,43 b	23,08 c
A ₉₀	400,00 bc	5,94 ab	86,34 c	1,33 b	20,75 bc
A ₁₂₀	378,83 b	5,54 ab	84,49 bc	1,25 b	17,92 a
<i>p-hodnota</i>	0,007308	0,006584	0,000320	0,000244	0,000064

*Rozdielne písmená pri priemernej hodnote znamenajú štatisticky preukazný rozdiel v rámci hodnoteného znaku (Fischerov LSD test, $\alpha = 0,05$). Legenda: PDPv – priemerný denný prírastok výšky; PDP­hm – priemerný denný prírastok hmotnosti suchej nadzemnej fyto­masy; A₀ – 0 g.m⁻² Aquaholderu; A₃₀ – 30 g.m⁻² Aquaholderu; A₆₀ – 60 g.m⁻² Aquaholderu; A₉₀ – 90 g.m⁻² Aquaholderu; A₁₂₀ – 120 g.m⁻² Aquaholderu

Produkcia suchej nadzemnej fyto­masy v prepočte na g.m⁻² (tabuľka 2) bola preukazne ($p = 0,000320$) ovplyvnená množstvom pridaného hydroabsorbentu. Najnižšia produkcia fyto­masy bola zaznamenaná v kontrolnom variante bez Aquaholderu (A₀ – 70,37 g.m⁻²). Naopak, najvyššia hmotnosť sušiny (viac ako 92,00 g.m⁻²) sa dosiahla vo variantoch A₃₀ a A₆₀. Taktiež aj v tomto prípade možno konštatovať, že ďalšie zvýšenie množstva Aquaholderu (A₉₀ a A₁₂₀) znížilo produkciu nadzemnej fyto­masy.

Uvedený trend bol charakteristický aj pre dennú intenzitu tvorby nadzemnej fyto­masy (PDP­hm) s najnižšou hodnotou v kontrolnom (A₀) variante (0,99 g.deň⁻¹.m⁻²). Vo variantoch s aplikáciou Aquaholderu sa zaznamenali síce preukazne ($p = 0,000244$) vyššie hodnoty v porovnaní s kontrolou, avšak s mierne inhibičným účinkom vyšších dávok daného hydroabsorbentu (A₉₀ a A₁₂₀).

Celkové zhodnotenie vplyvu Aquaholderu na tvorbu odnoží, t.j. hustotu porastu (tabuľka 2) ukázalo, pozitívne a zároveň štatisticky preukazné ($p = 0,000064$) pôsobenie uvedeného hydroabsorbentu v porovnaní s kontrolným variantom (A₀). Počet odnoží vo variantoch, kde sa aplikoval hydroabsorbent Aquaholder, dosiahol hodnoty od 17,92 do 23,08 ks.nádoba⁻¹, pričom najhustejší porast sa zaznamenal pri dávke Aquaholderu 60 g.m⁻² (A₆₀). Z aplikovaných dávok Aquaholderu sa najmenej efektívne prejavila dávka 120 g.m⁻² (A₁₂₀), kde sa zistilo len 17,92 odnoží na nádobu (t.j. v priemere len o 2,84 odnože na nádobu viac ako v kontrolnom variante A₀).

ZÁVER

Na základe výsledkov možno konštatovať, že aplikácia hydroabsorbentu Aquaholder mala na rast a produkčné parametre mätonohu trváceho prevažne pozitívny vplyv, pričom optimálne účinky sa dosiahli pri dávkach do 60 g.m⁻². Vyššie dávky už pôsobili mierne inhibične, čo potvrdzuje, že nadmerná aplikácia môže predstavovať stresový faktor znižujúci rast, produkciu fytomasy aj hustotu porastu. Pre prax to znamená potrebu presného dávkovania podľa odporúčaní výrobcu, aby sa využili výhody hydroabsorbentu bez negatívnych dopadov na rastliny.

LITERATÚRA

- /1/ Černoch, V.: Využití jetele plazivého pro trávníky v podmínkách České republiky. In Trávníky 2003. Hrdějovice: Agentura BONUS 2003: 43–46.
- /2/ El-Hady, O. A., Wanas, S. A.: Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acrylamide hydrogels. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(12), 2006: 1293–1297.
- /3/ Feng W., Gao J., Cen R., Yang F., He Z., Wu J., Miao Q., Liao H.: Effects of Polyacrylamide-Based Super Absorbent Polymer and Corn Straw Biochar on the Arid and Semi-Arid Salinized Soil. *Agriculture*. 10(11), 2020: 519.
- /4/ Gorani, R., Naseri, R.: Effect of superabsorbent polymer on seed germination and early growth of wheat under drought stress. *International Journal of Biosciences*, 4(1), 2014: 16–23.
- /5/ Gregorová, H., Ďurková, E.: Výsledky s použitím Stockosorbu na trávníky. In Podtatranské pažite (zbor. referátov zo sympózia a vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou). Nitra: SPU 2006: 187–191.
- /5/ Harper, J. C.: Mowing turfgrasses. In *Turfgrass Management – Special Circular*, 147(12), 2007: 120–124.
- /6/ Gregorová, H.: Špeciálne trávníkárstvo. Nitra: SPU, 2009: 147.
- /7/ Hou, X., Li, R., He, W.: Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region. *J. Soils Sediments*, 18, 2018: 816–826.
- /9/ Hrabě, F., Cagaš, B., Černoch, V., Dekař, J., Grézl, V., Hejduk, S., Chytka, T., Knot, P., Kuřková, T., Müller-Beck, K., Našinec, I., Pospíchalová, H., Skládanka, J., Straka, J., Straková, M., Ševčíková, M., Viktorín, J., Vorlíček, Z., Zemková, L., Zítka, J.: Trávníky pro zahradu, krajinu a sport. Olomouc: Vydavatelství Ing. Petr Baštan, 2009: 335.
- /10/ Hüttermann, A., Orikiriza, L. J. B., Agaba, H.: Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. *Clean – Soil, Air, Water*, 37(7), 2009: 517–526.
- /11/ <http://www.pewas.sk/aquholder.html> [cit. 2025-07-25]
- /12/ Mali, M., Savant, N. K.: Effect of super absorbent polymer on soil properties and crop growth – A review. *Journal of Applied and Natural Science*, 7(1), 2015: 510–514.
- /13/ Míka, V., Cagaš B.: Symbiotické endofytní houby v trávách a možnosti manipulace obsahem toxických alkaloidů v píce. *Metodiky pro zemědělskou praxi*. Praha: ÚZPI a MZ 19, 1997: 23.
- /14/ Našinec, I.: Odolnost trav vůči suchu a zastínění. In Trávníky '99 (ročenka českého trávníkářství). Hrdějovice: Agentura BONUS 1999: 21.
- /15/ Salaš, P., Sloup, J.: Využití látek, zadržujících vodu v půdě, pro školkařskou produkci. In *Acta Horticulturae et Regiotecturae*. 10(1), 2007: 12–16.
- /16/ Skládanka, J., Cagaš, B., Doležal, P., Havlíček, Z., Hejduk, S., Horký, P., Jančovič, J., Klusoňová, I., Knot, P., Kovár, P., Mejía, J. E. A., Mikyska, F., Nawrath, A., Pokorný, R., Sláma, P., Szwedziak, K., Tukiendorf, M., Šeda, J., Vozár, L., Vyskočil, I., Zeman, L.: Pícninářství. Brno: Mendelova univerzita, 2014: 368.
- /17/ Statistica program/documentation: StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com.
- /18/ Straka, J., Straková, M.: Zkušenosti s půdními kondicionéry při zatravňování svahů na extrémních stanovištích. In Trávníky 2003. Hrdějovice: Agentura BONUS 2003: 16–21.
- /19/ Straková, M.: Péče o kořeny v zatěžovaných trávnících (problémy, příčiny, opatření). In Trávníky 2002, Hrdějovice: Agentura BONUS 2002: 51–53.
- /20/ Ševčíková, M., Šrámek, P., Faberová, I.: Klasifikátor – Trávy. Zubří: OSEVA PRO s.r.o., 2002: 34.

- /21/ Vozár, Ľ., Kovár, P.: Vplyv zlepšujúcich materiálov na hustotu trávniku. In VIII. zjazd Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV : zborník prednášok, Nitra 16. júna 2010. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV; 2010. Nitra: Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2010: 119–122.
- /22/ Yang Y., Zhang S., Wu J., Gao C., Lu D., Tang D. W. S.: Effect of long term application of super absorbent polymer on soil structure, soil enzyme activity, photosynthetic characteristics, water and nitrogen use of winter wheat. *Front. Plant Sci.* 13, 2022: 998494.

Pod'akovanie

Touto cestou vyslovujeme pod'akovanie Ing. Matejovi Betákovi za pomoc pri realizácii experimentu.

AKUMULÁCIA Cd A Mn V ASIMILAČNÝCH ORGÁNOCH RASTLÍN VYSTAVENÝCH EMISIÁM Mg Z ŤAŽOBNÉHO PRIEMYSLU

ACCUMULATION OF MN AND CD IN PLANT ASSIMILATORY ORGANS EXPOSED TO MG EMISSIONS FROM MINING INDUSTRY

Margita Kuklová, Ján Kukla, Katarína Sládeková, Ivan Mihál

Ústav ekológie lesa v.v.i. Slovenská akadémia vied, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovensko
e-mail: kuklova@ife.sk

Summary

The assimilatory organs of *Carpinus betulus*, *Quercus polycarpa*, *Betula pendula*, *Dryopteris filix-mas*, *Lactuca saligna*, *Rubus idaeus* and *Puccinellia distans* were studied in order to assess risk elements (Mn, Cd) along the altitudinal gradient polluted by Mg immissions. The obtained data were compared at contaminated (A, B, C) and control (D) sites. *B. pendula* and *Q. polycarpa* (441–523 mg kg⁻¹) had significantly highest Mn contents in the D zone, while leaves of *C. betulus* and shoots of *L. saligna* (673–315 mg kg⁻¹) in B zone. Mn content was also significantly higher in shoots of *D. filix-mas* in the D zone compared to the species growing in zone C. The highest Cd content was found in stems of *L. saligna* (0.867 mg kg⁻¹) in the B zone. Significantly higher Cd contents were also recorded in the leaves of *B. pendula* growing in A and B zones but also in leaves of *Q. polycarpa* in C zone. Higher content of risk elements in the plants was not always related to higher contents in the soils. Soil Cd was significantly and positively correlated with the contents in the leaves of *C. betulus* and *Q. polycarpa*. The Mn content in the soil had the closest positive relationship with the Mn content in leaves of *Q. polycarpa*.

Key words: magnesite immissions, plant species, manganese, cadmium, Central Slovakia

Súhrn

V práci uvádzame obsah rizikových prvkov (Mn, Cd) v asimilačných orgánoch *Carpinus betulus*, *Quercus polycarpa*, *Betula pendula*, *Dryopteris filix-mas*, *Lactuca saligna*, *Rubus idaeus* a *Puccinellia distans* pozdĺž výškového gradientu znečisteného Mg emisiami. Získané údaje boli porovnané na kontaminovaných (A, B, C) a kontrolných (D) lokalitách. *B. pendula* a *Q. polycarpa* mali signifikantne najvyššie obsahy Mn (441–523 mg kg⁻¹) v D zóne, zatiaľ čo listy *C. betulus* a *L. saligna* (673–315 mg kg⁻¹) v B zóne. Obsah Mn bol významne vyšší aj vo výhonkoch *D. filix-mas* v D zóne v porovnaní s druhom rastúcim v C zóne. Najvyšší obsah Cd bol zistený v stonkách *L. saligna* (0,867 mg kg⁻¹) v B zóne. Významne vyššie obsahy Cd boli zaznamenané aj v listoch *B. pendula* rastúcich v A a B zónach, ale aj v listoch *Q. polycarpa* v C zóne. Vyšší obsah rizikových prvkov v rastlinách nie vždy súvisel s vyššími obsahmi v pôdach. Obsah Cd v pôde významne a pozitívne koreloval s obsahom Cd v listoch *C. betulus* a *Q. polycarpa*. Obsah Mn v pôde mal najtesnejší pozitívny vzťah k obsahu Mn v listoch *Q. polycarpa*.

Kľúčové slová: magnezitové imisie, rastlinné druhy, mangán, kadmium, stredné Slovensko

ÚVOD

Hromadenie toxických prvkov v rastline úzko súvisí s podmienkami prostredia. Doterajšie štúdie ukázali, že koncentrácia rizikových prvkov v rastlinách klesá, keď sa vzdiaľujú od zdroja znečistenia /1/. V oblastiach vystavených emisiám znečisťujúcich látok z magnezitového ťažobného priemyslu prachové emisie obsahujú veľké množstvo Mg /2/. Akumulácia nebezpečných kovov spôsobuje významné fyziologické a biochemické reakcie v cievnatých rastlinách. Ako uvádzajú Preeti a Tripathi /3/, existuje priamy vzťah medzi chemickými charakteristikami pôdy, koncentráciou ťažkých kovov a morfológickými a biochemickými reakciami rastlín. V prípade Mn sú dôležitými interakciami pôda-rastlina a rastlina-mikrób, ktoré riadia dostupnosť Mn v pôde /4/. Kadmium je toxický neesenciálny kov, ktorý predstavuje zdravotné riziko pre ľudí aj zvieratá. Podľa Štofejovej et al. /5/, skúmané dominantné druhy rastlín *Phragmites australis*, *Agrostis stolonifera*, *Elytrigia repens* a *Taraxacum officinale* rastúce v okolí magnezitového závodu v Jelšave-Lubeníku a Košiciach sú schopné akumulovať vysoké koncentrácie potenciálne toxických prvkov bez vážnejšieho poškodenia. Alaouri et al. /6/ zistil, že koncentrácie Cd stanovené vo vzorkách odobratých z 1-ročného a 2-ročného ihličia borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.) rastúcej vo vzdialenostiach 1 km, 3 km, 10 km a 25 km v blízkosti spracovania a ťažby Mg rudy v Rusku boli štatisticky významné a so vzdialenosťou od zdroja znečistenia bol pozorovaný nárast Cd.

Magnezitový závod v Lubeníku bol založený v roku 1934, preto skúsenosti so zhoršovaním životného prostredia a aj s rekultiváciou dotknutých pozemkov sú dlhodobé. Predpokladáme, že emisie Mg z tohto priemyselného centra výrazne ovplyvňujú ekotoxikologické vlastnosti pôd, vitalitu a početnosť rastlinných druhov. Cieľom tejto štúdie bolo kvantifikovať rozsah zmien v množstvách Mn a Cd akumulovaných v pôdach a vybraných rastlinných druhoch vystavených emisiám znečisťujúcich látok z magnezitového ťažobného priemyslu pozdĺž výškového gradientu.

MATERIÁL A METÓDY

Výskum bol realizovaný v imisných zónach A až D Jelšava-Lubeník magnezitového priemyselného komplexu v rokoch 2021–2023 /7/. Magnezitový závod Slovmag, a.s. Lubeník vyrába magnezitový slinok, ktorý sa používa na výrobu žiaruvzdorných konštrukcií a materiálov. Emisie tuhých látok dosahovali v 50. rokoch okolo 800 ton ročne /8/, a len 7 t rok⁻¹ v roku 2022 /9/.

Vzorky pôd klasifikovaných podľa IUSS Working Group WRB /10/ boli odobraté na náhodne vybraných plochách z minerálnych vrstiev 0–5 cm (celkom 12 vzoriek) v troch vyhotoveniach. Odber vzoriek z asimilačných orgánov bylín (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Lactuca saligna* L., *Rubus idaeus* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.) a drevín (*Carpinus betulus* L., *Quercus polycarpa* Schur, *Betula pendula* Roth) sa uskutočnil pomocou stratifikovaného náhodného zberu údajov v období optimálnej vegetácie. Vzorky asimilačných orgánov bylín a drevín (cca 30 jedincov z každého druhu) boli odobraté v 4 opakovaníach (listy drevín z dolnej tretiny korún stromov z J–Z expozície). Celkové množstvá Cd v pôdach a rastlinách boli stanovené po mineralizácii vzoriek v roztoku aqua regia metódou AES-ICP s použitím spektrometra VARIAN 725-ES (Austin, Texas) podľa ISO 11885. Celkový obsah Mn v pôdach a asimilačných orgánoch rastlín sa stanovil po mineralizácii vzoriek v

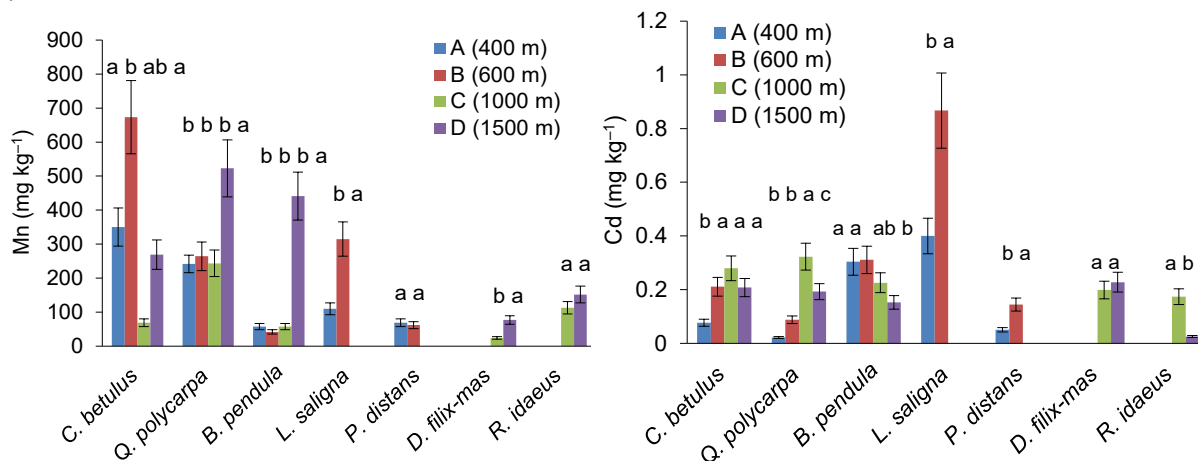
koncentrovanom roztoku HNO_3 metódou FAAS s použitím prístroja SensAA (Braeside, Austrália).

Údaje boli interpretované pomocou programu Statistica, verzia 9.0, StatSoft (Tulsa, USA). Variabilita Mn a Cd v pôdach a rastlinných druhoch bola hodnotená na základe výsledkov ANOVA ($p \leq 0,05$), po ktorej nasledoval post-hoc Tukey test. Asociácie medzi koncentraciami prvkov v 0–5 cm pôdných vrstvách a rastlinnými druhmi pozdĺž výškového gradientu boli následne testované pomocou Pearsonovej korelačnej analýzy.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah Mn v rastlinných druhoch kolísal medzi $673,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (*C. betulus*, zóna B) a $24,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (*D. filix-mas*, zóna C), (graf 1). *B. pendula* a *Q. polycarpa* mali signifikantne najvyššie obsahy ($441\text{--}523 \text{ mg kg}^{-1}$) v D zóne, zatiaľ čo listy *C. betulus* a *L. saligna* ($673\text{--}315 \text{ mg kg}^{-1}$) v B zóne. Obsah Mn bol významne vyšší aj vo výhonkoch *D. filix-mas* v D zóne v porovnaní s druhom rastúcim v C zóne. V prípade výhonkov *P. distans* (A zóna: 69 mg kg^{-1} ; B zóna: 62 mg kg^{-1}) a *R. idaeus* (C zóna: 113 mg kg^{-1} ; D zóna: 152 mg kg^{-1}) obsah Mn bol dosť podobný.

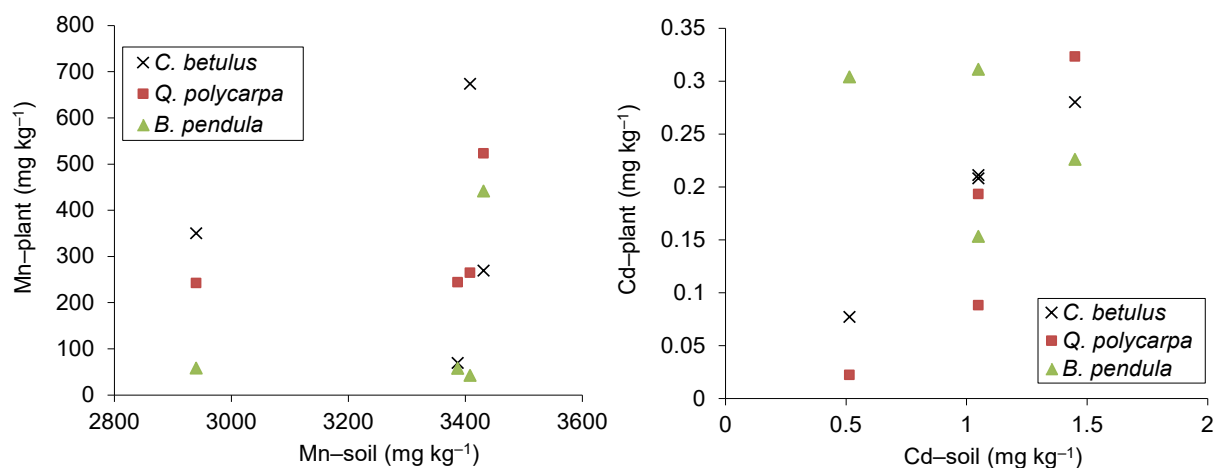
Najvyšší obsah Cd bol zistený v stonkách *L. saligna* ($0,867 \text{ mg kg}^{-1}$) v B zóne. Významne vyššie obsahy Cd boli zaznamenané aj v listoch *B. pendula* ($0,304\text{--}0,311 \text{ mg kg}^{-1}$) rastúcich v A a B zónach, ale aj v listoch *Q. polycarpa* ($0,323 \text{ mg kg}^{-1}$) v zóne C. Listy *C. betulus* a *Q. polycarpa* mali významne najnižší obsah Cd v A zóne v porovnaní s ostatnými zónami. Významné rozdiely medzi zónami ukázali aj výhonky *P. distans* a *R. idaeus*. V prípade výhonkov *D. filix-mas* bol obsah Cd dosť podobný (C zóna: 113 mg kg^{-1} ; D zóna: 152 mg kg^{-1}).



Graf 1: Obsah Mn a Cd v asimilačných orgánoch rastlinných druhov v rôznych vzdialenostiach od zdroja znečistenia (A = 400 m, B = 600 m, C = 1000 m, D = 1500 m). Významne odlišné hodnoty (Tukey HSD test, $p < 0,05$) sú označené rôznymi písmenami (a, b, c)

Graf 2 znázorňuje obsah prvkov v stromovitých druhoch ako funkciu obsahu prvkov v 0–5 cm vrstvách pôdy. V pôdných vrstvách bol obsah Mn najvyšší v D zóne (3431 mg kg^{-1}). V ostatných zónach hodnoty kolísali nasledovne (mg kg^{-1}): A: $2940 < C$: $3387 < B$: 3408 . Najvyšší obsah Mn nájdený v listoch *C. betulus* (673 mg kg^{-1}) s koncentráciou Mn v pôde v B zóne. Celkovo najnižší obsah Mn vykazovala *B. pendula* (42 mg kg^{-1}) s koncentráciou Mn v pôde v B zóne.

Obsah Cd v pôdných vrstvách vzrastal od zóny A ($0,52 \text{ mg kg}^{-1}$) smerom k zóne C ($1,45 \text{ mg kg}^{-1}$). V pôdnej vrstve v D zóne bol obsah Cd identický s obsahom Cd v B zóne (1 mg kg^{-1}). Zo stromovitých druhov najvyššia hodnota Cd bola zistená v listoch *Q. polycarpa* s najvyššou koncentráciou Cd v pôde v C zóne. Celkovo najnižší obsah Cd mali asimilačné orgány *Q. polycarpa* s najnižšou koncentráciou Cd v pôde v A zóne.



Graf 2: Priemerný obsah Mn a Cd v listoch stromovitých druhov ako funkcia obsahu prvkov v 0–5 cm vrstvách pôdy

Tabuľka 1 sumarizuje výsledky korelačnej analýzy medzi obsahom prvkov v 0–5 cm pôdných vrstvách a stromovitými druhmi. Obsah Mn v pôde mal najtesnejší pozitívny vzťah ($0,476$) s obsahom Mn v listoch *Q. polycarpa*. Štatisticky významné pozitívne korelácie ($0,904$ až $0,993$) boli nájdené aj medzi obsahom Cd v pôde a listami *Q. polycarpa* a *C. betulus*.

Tab. 1: Lineárne (Pearsonove) korelácie medzi koncentraciami prvkov v 0–5 cm pôdných vrstvách a rastlinnými druhmi pozdĺž výškového gradientu ($n = 12$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

Rastlinné druhy/ Pôda/Element	<i>B. pendula</i>	<i>C. betulus</i>	<i>Q. polycarpa</i>
Mn	0.228	0.187	0.476
Cd	-0.215	0.993**	0.904**

V lokalitách s Mg priemyslom sú ekologické vlastnosti pôd a rastlín ovplyvňované imisiami Mg. So zmenou pH často dochádza k zhoršeniu humifikačných podmienok, ktoré blokujú príjem ľahko dostupných živín a celkovú výživu rastlín [11]. Výskum Pivkovej et al. [7, 12] ukázal, že skúmané lokality sú väčšinou silne alkalické.

Obsah Mn bol signifikantne najvyšší v listoch *B. pendula* a *Q. polycarpa* (441 – 523 mg kg^{-1}) v D zóne, kým v listoch *C. betulus* (673 mg kg^{-1}) v B zóne. Koncentrácia Mn v listoch *B. pendula* a *P. distans* rastúcich v zónach A a B dosiahla len 42 až 69 mg kg^{-1} . Priemerná dostatočná koncentrácia Mn v sušine výhonkov rastlín je 50 mg kg^{-1} [13]. Obsah Mn v pôdach mal najtesnejší pozitívny vzťah len k obsahu Mn v listoch *Q. polycarpa*.

Najvyšší obsah Cd bol zistený v stonkách *L. saligna* ($0,867 \text{ mg kg}^{-1}$) v B zóne. Zo stromovitých druhov najvyššia hodnota Cd bola zistená v listoch *Q. polycarpa* s najvyššou koncentráciou Cd v pôde v C zóne. Obsah Cd v pôdach významne a pozitívne koreloval s obsahmi Cd v listoch *C. betulus* a *Q. polycarpa*. Kadmium bolo tiež biologicky dostupným

kovom v pôdach kontaminovaných troskou z opustenej oceliarne v Havane, čo sa prejavilo vysokou akumuláciou Cd ($1,0 \text{ mg kg}^{-1}$) v listovej zelenine [14]. Podľa Ismael et al. [15], vyššie hodnoty v rastlinách možno vysvetliť vyššou účinnosťou rastlín absorbovať kov z pôdy a vzduchu na kontaminovaných lokalitách.

ZÁVER

Vo väčšine rastlinných druhov boli zaznamenané niekoľkonásobne vyššie obsahy Mn a Cd ako sú referenčné hodnoty pre rastliny /13, 16/. Významný nadbytočný obsah rizikových prvkov v rastlinách poukazuje na kontamináciu, pri ktorej môžeme brať do úvahy škodlivosť a toxicitu.

LITERATÚRA

- /1/ Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik, H., Cometen H. 2019. The usability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic originated heavy metal concentrations in Turkey. *Pol J Environ Stud* 29:1051-1057.
- /2/ Wang HQ, Zhao Q, Zeng D, Hu Y, Yu ZY. 2015. Remediation of a magnesium contaminated soil by chemical amendments and leaching. *Land Degrad Dev* 26:613-619. DOI: [10.1002/ldr.2362](https://doi.org/10.1002/ldr.2362).
- /3/ Preeti P., Tripathi A.K. 2011. Effect of heavy metals on morphological and biochemical characteristics of *Albizia procera* (Roxb.) Benth. seedlings. *Int J Environ Sci* 1:1009-1018.
- /4/ Rengel Z. 2000. Manganese Uptake and Transport in Plants. In A. Sigel, H. Sigel (Eds.), *Metal Ions in Biological Systems* 37, pp. 57-87. Marcel Dekker.
- /5/ Štofejšová L., Fazekaš J., Fazekašová D. 2022. Transfer of Potentially Toxic Elements in the Soil-Plant System in Magnesite Mining and Processing Areas. *Processes* 10, 720. <https://doi.org/10.3390/pr10040720>.
- /6/ Alaquouri HAA, Genc CO, Aricak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M. 2020. The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation. *Environ Sci Pollut Res Int*. 27:20273-20280. doi: 10.1007/s11356-020-08449-1.
- /7/ Pivková I., Kukla J., Sládek K., Kuklová M. 2024. Obsah makronutrientov v rastlinách ovplyvnených imisiami magnézia (Content of macronutrients in plants affected by magnesite). In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2024. Proceedings of scientific articles. - Česká zemědělská univerzita v Praze: Ústav ekologie lesa Slovenskej akademie vied, v. v. i., p. 44-52.* <https://ife.sk/wp-content/uploads/2020/09/SBORN%C3%8DK2024op.pdf>.
- /8/ Hančušák J. 2000. A Development of the dust deposition in the area surrounding the SMZ, a.s., Jelšava plant. *Acta Montanistica Slovaca* 5: 310-312.
- /9/ AIR - Emisie. http://www.air.sk/emissions.php?zl=CO&rok=em_2022&pcz=0030006. Accessed 24 September 2024.
- /10/ IUSS Working Group WRB (2022) World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, 4th edn. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria.
- /11/ Arduini I., Kettner C., Godbold DL., Onnis A., Stefani A. 1998. pH influence on root growth and nutrient uptake of *Pinus pinaster* seedlings. *Chemosphere* 36:733-738. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)10116-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10116-3)
- /12/ Pivková I., Kukla J., Mihál I., Hnilička F., Hniličková H., Sládek K., Kuklová, M. 2023. Obsah kadmia v pôdach ovplyvnených magnezitovými imisiami (Cadmium content in the soils affected by magnesite immissions). In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023: Sborník recenzovaných vědeckých prací*. Ed. František Hnilička. 1. vyd. - Praha; Zvolen : Česká zemědělská univerzita : Ústav ekologie lesa Slovenskej akademie vied, v.v.i., s. 42-47. https://ife.sk/wp-content/uploads/2020/09/Zbornik_stresy2023.pdf.
- /13/ Marschner H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edn. Academic Press, Adelaide, Australia.
- /14/ Alfaro MR., Ugarte OM., Lima LHV., Silva JR., da Silva FBV., da Silva Lins SA., do Nascimento CWA. 2022. Risk assessment of heavy metals in soils and edible parts of vegetables grown on sites contaminated by an abandoned steel plant in Havana. *Environ Geochem Health* 44: 43-56.
- /15/ Ismael MA., Elyamine AM., Moussa MG., Cai M., Zhao X., Hu C. 2019. Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics* 11: 255-277.

/16/ Markert B. 1995. Instrumental Multielement Analysis in Plant Materials—A Modern Method in Environmental Chemistry and Tropical Systems Research; (Série 8), CETEM/CNPq: Rio de Janeiro, Brazil.

PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory výskumného projektu VEGA 2/0001/25 a 2/0045/22.

ODPOVEĎ NA KADMIOVÝ STRES PRI DVOCH ODRODÁCH SÓJE POČAS SKOREJ ONTOGENÉZY

RESPONSE TO CADMIUM STRESS IN TWO SOYBEAN VARIETIES DURING EARLY ONTOGENESIS

Roman Kuna, Peter Boleček, Karin Stránska

Katedra botaniky a genetiky, FPVaI UKF, Nábřežie mládeže 91, 949 01 Nitra, Slovenská
republika, rkuna@ukf.sk

Summary

In our research, we focused on assessing the short-term impact of cadmium at concentrations of 10 and 100 mg/kg on two soybean cultivars (Adesa, Albenga) grown in horticultural substrate. After 34 days of cultivation and 7 days following cadmium application, we analyzed selected physiological parameters in the first three leaves of the experimental plants. The stress-related parameters were proline, photosynthetic pigments, and *in situ* detection of O_2^- . Significant differences were rare. For proline content there was a significant increase in the first leaf of tolerant cultivar, in both treatments. In the second leaf, there were signs of hormesis between treatments. The results for the third leaf were similar to those of the first. In terms of photosynthetic pigments, the contents of Chl *a*, Chl *b*, and carotenoids were consistently higher in the tolerant cultivar for both treatments. The detection of O_2^- pointed to expected differences between the cultivars.

Keywords: Glycine max, cadmium stress, proline, chlorophylls, ontogenesis

Súhrn

V našom výskume sme sa zamerali na hodnotenie krátkodobého vplyvu kadmia, pri koncentráciách 10 a 100 mg/kg, na 2 odrody sóje (Adesa, Albenga) pestované v záhradníckom substráte. Po 34 dňoch pestovania a 7 dňoch od aplikácie kadmia sme analyzovali niektoré fyziologické parametre v prvých troch listoch pokusných rastlín. Stresovými parametrami boli obsah prolínu, fotosyntetických pigmentov a *in situ* detekcia akumulácie superoxidového radikálu. Štatisticky významné rozdiely sme zaznamenali len ojedinele. Pri obsahu prolínu to bolo predovšetkým pri prvom liste. Pri tolerantnej odrode to bol významný nárast vo variante Cd10 aj Cd100. Pri druhom liste sú náznaky hormézy medzi Cd10 a Cd100. Tretí list sa výsledkovo podobal prvému. Vo fotosyntetických pigmentoch, pri Cd10 aj Cd100, boli obsahy Chl *a*, Chl *b* aj karotenoidov vždy vyššie pri tolerantnej odrode. Detekcia O_2^- poukázala na očakávané rozdiely medzi odrodami.

Kľúčové slová: Glycine max, kadmiový stres, prolín, chlorofyly, ontogenéza

ÚVOD

Sója je jednou z najdôležitejších plodín v ľudskej strave, krmivách pre zvieratá a priemyselných výrobkoch a na pôdach kontaminovaných kadmium dochádza k výraznému zníženiu jej rastu a produkcie [1]. Kadmium je rozšírený ťažký kov znečisťujúci životné prostredie s dlhou biologickým polčasom rozkladu. Pochádza najmä z priemyselných procesov a fosfátových hnojív. Rastliny ho ľahko prijímajú, čo vedie k prejavom toxicity, ako sú chloróza, vädnutie, spomalenie rastu a bunková smrť. Táto bunková toxicita môže byť výsledkom narušenia dôležitých metabolických dráh, interakcie s karboxylovými alebo tiolovými skupinami proteínov a náhleho nárastu tvorby reaktívnych foriem kyslíka (ROS) v rastlinách [2]. Niektoré ťažké kovy, ako zinok a meď, sú potrebné pre prirodzený rast a vývin rastlín, keďže fungujú ako štruktúrne a funkčné prvky špecifických bielkovín [3]. Iné, napríklad olovo, kobalt a kadmium nie sú biologicky odbúrateľné, čo znamená, že tieto kovy sa nedokážu prirodzene rozložiť prostredníctvom biologických procesov. Prienik ťažkých kovov do rastliny spomaľuje rast a naruša bunkový metabolizmus tým, že poškodzuje bunkové membrány a štruktúru DNA, mení vlastnosti enzýmov a naruša bunkové funkcie.

Prolín, okrem toho, že vystupuje ako osmoprotektant a antioxidačná molekula, v prítomnosti ťažkých kovov taktiež pôsobí ako chelátor kovov [4]. Prolín chráni proteíny tým, že chelátovo viaže kovové ióny, čím zabraňuje ich negatívnemu vplyvu na štruktúru proteínov. Navyše dokáže podporovať syntézu fytochelatínov, ktoré viažu ťažké kovy, ako je kadmium, a tým znižujú ich toxicitu. Toto tvrdenie sa potvrdilo, pri pozorovaní zvýšenia hladín prolínu v rastlinách vystavených stresu z niklu, molybdénu, olova aj zinku. Zvýšené hladiny prolínu sa zistili v reakcii na stres z kovov, napríklad v prípade cíceru pri kadmiu, hrachu pri nikli, a olivovníka pri toxicite kadmia [5]. Napriek tomu stresom vyvolaná akumulácia prolínu v rastlinných pletivách nie je vždy považovaná ako úplne pozitívny výsledok. Vo viacerých štúdiách súvisiacich s rastlinami vystavených stresu z ťažkých kovov sa prolín akumuloval na niekoľkonásobne vyššie hladiny. Avšak tieto rastliny stále trpeli značnou inhibíciou rastu, symptómami fytotoxicity a závažným oxidačným poškodením, ktoré sa nezdalo byť účinne kompenzované endogénnym prolínom [6]. Niektorí autori navyše tvrdia, že v reakcii na stres z ťažkých kovov by sa mala akumulácia prolínu dokonca považovať skôr iba za signál citlivosti na stres než za obranný mechanizmus [7]. Napriek tomu boli zistené zaujímavé výsledky v súvislosti s akumuláciou prolínu v rastlinách tolerantných na kovy. Ukázalo sa, že rastliny, ktoré sú tolerantné voči kovom vykazujú celkovo vyššie hladiny prolínu ako ich najbližšie citlivé druhy, čo poukazuje najmä na značné rozdiely v ich koreňových pletivách. Taktiež bolo zistené, že pri strese z kovu pri *Solanum nigrum* sa prolín viac akumuloval v koreňoch ako vo výhonkoch [8].

Účinky kadmia na rastliny zahŕňajú aj inhibíciu fotosyntézy a rastu, zníženie obsahu chlorofylu a vody, narušenie príjmu živín a môžu viesť až k úhynu rastliny [9]. Listy sú hlavnými fotosyntetickými orgánmi kde chlorofyl zohráva kľúčovú úlohu, a preto obsah chlorofylu v listoch zohráva zásadnú úlohu pri určovaní rastu rastliny (Tantray a kol., 2020). Viaceré práce potvrdzujú degradáciu obsahu fotosyntetických pigmentov v závislosti od dávky kadmia. U sadeníc sóje ošetrovaných 50 a 100 μM CdCl_2 došlo počas 10 dní k výraznému poklesu celkového obsahu chlorofylov pri dávke 100 μM Cd a pomer Chl *a/b* tiež klesol, čo naznačuje prednostné zníženie obsahu Chl *a* [11]. V ďalších prácach boli dokumentované výsledky, kde pri nízkej dávke kadmia došlo k zvýšeniu obsahu pigmentov a ku zníženiu až pri zvyšovaní

zátaze, v porovnaní s kontrolnými rastlinami pri sóji. Napriek tomu sa zdá, že sadenice sóje dobre znášajú mierne znečistenie kadmium [12].

MATERIÁL A METÓDA

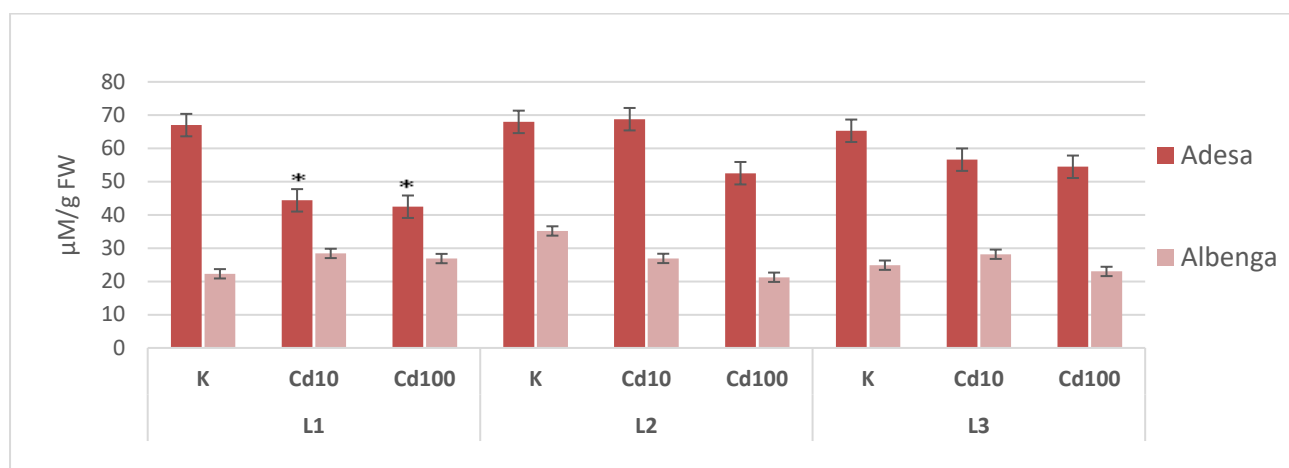
V práci sme analyzovali 2 odrody sóje fazuľovej – *Glycine max* L., Albenga a Adesa, ktoré sme vybrali podľa miery citlivosti voči kadmium ($15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ aplikované vo forme $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a to na základe poklesu čerstvej hmotnosti koreňov v porovnaní s kontrolou. Korene sme odoberali pri rastlinách dopestovaných nasledovným postupom. Semená sóje sme najprv sterilizovali 0,5 % chlórnanom sodným po dobu 20 min. Po opláchnutí v sterilnej destilovanej vode sme ich preniesli do plastových nádob na tri vrstvy filtračného papiera navlhčeného sterilnou destilovanou vodou a nechali vyklíčiť v tme, pri 23°C po dobu 48 hod. Klíčence sme následne preniesli do Petriho misiek na tri vrstvy filtračného papiera navlhčeného sterilnou destilovanou vodou (kontrolné vzorky) alebo roztokom kadmia (stresované vzorky) a inkubovali v tme, pri 23°C a po dobu 48 hod. Následne sme najtolerantnejšiu odrodu Adesa a najcitlivejšiu Albenga vypestovali v nádobovom pokuse.

Semená týchto odrôd sme vysterilizovali 0,5 % chlórnanom sodným, predklíčili v plastových nádobách, ako pri postupe uvedenom vyššie, a klíčence sme zasadili do plastových kvetináčov (5 l) s univerzálnym záhradníckym substrátom (1,5 kg; Durpeta Profi mix 2A, Taliansko). Rastliny sme pestovali v rastovej komore Fitotron HGC 1514 pri týchto mikroklimatických podmienkach: fotoperiódá 12/12, teplota $24/20^\circ\text{C}$, vlhkosť 60/50 %, 18 000 lux. Po 27 dňoch pestovania sme v prípade stresovaných rastlín aplikovali 10 a $100 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ vo forme $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. V 34. deň nádobového pokusu sme z rastlín odobrali najstarší trojpočetný list (L1), druhý najstarší trojpočetný list (L2) a najmladší trojpočetný list (L3), v ktorých sme analyzovali vybrané ukazovatele stresu: obsah fotosyntetických pigmentov v acetóne [13], obsah prolínu v kyseline sulfosalicylovej [14] a histochemicky *in situ* aj superoxidového radikálu pomocou NBT [15]. Všetky spektrofotometricky získané výsledky sme vyhodnotili pomocou nami vytvorených štandardných kriviek a štatistickú analýzu sme realizovali pomocou dvojvýberového t-testu s nerovnosťou rozptylu ($p < 0,05$).

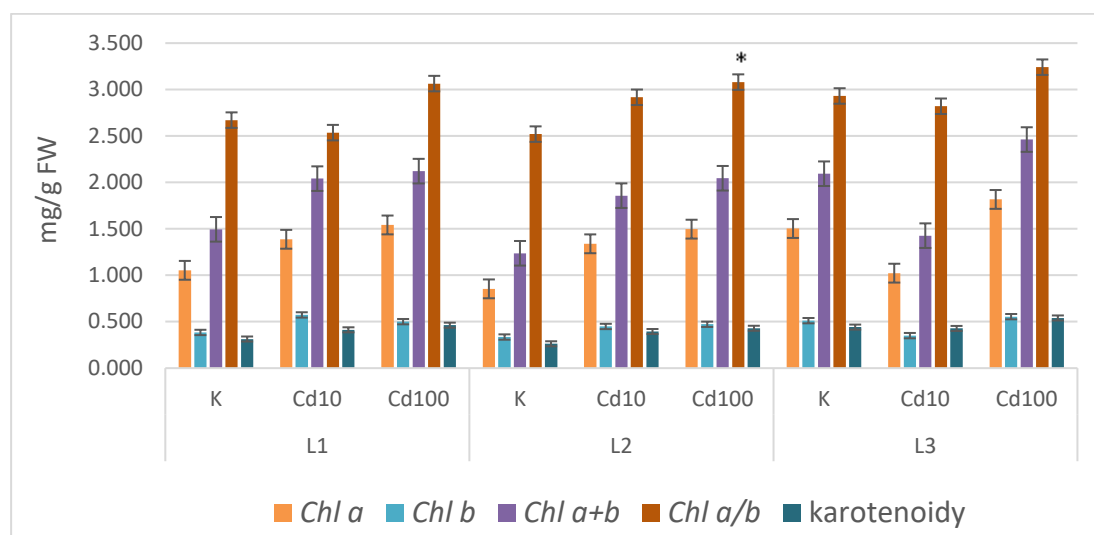
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Naše výsledky pri rastlinách sóje predovšetkým potvrdili pomerne významné odrodové rozdiely v odpovedi na kadmiovú záťaž. Pri krátkodobom pôsobení kadmia sme nezaznamenali na rastlinách významné morfológické rozdiely, ale vo fyziologických parametroch sa už ukázali transparentnejšie odlišnosti. V obsahu prolínu, pri tolerantnej odrode Adesa, sme zaznamenali trend poklesu v oboch kadmiových variantoch oproti kontrole, predovšetkým pri L1 (Garf 1). Pri citlivej odrode Albenga sa najvýznamnejšia citlivosť prejavila rovnako pri L1, v L2 a L3 bol trend skôr opačný, pričom vo všetkých variantoch bol obsah prolínu vyšší pri tolerantnejšej odrode. V práci [16] boli semená sóje vystavené dávke kadmia 50 mg/L, 100 mg/L a 200 mg/L počas 24, 48, 72 a 96 hodín. Zreteľným trendom bolo, že obsah prolínu v semenách rástol po 24, 48 a 72 hodinách expozície, no následne po 96 h klesol. Rovnako sa však ukázalo, že obsah prolínu vo všetkých variantoch nevýznamne rástol, alebo dokonca klesal so zvyšujúcou sa dávkou kadmia.

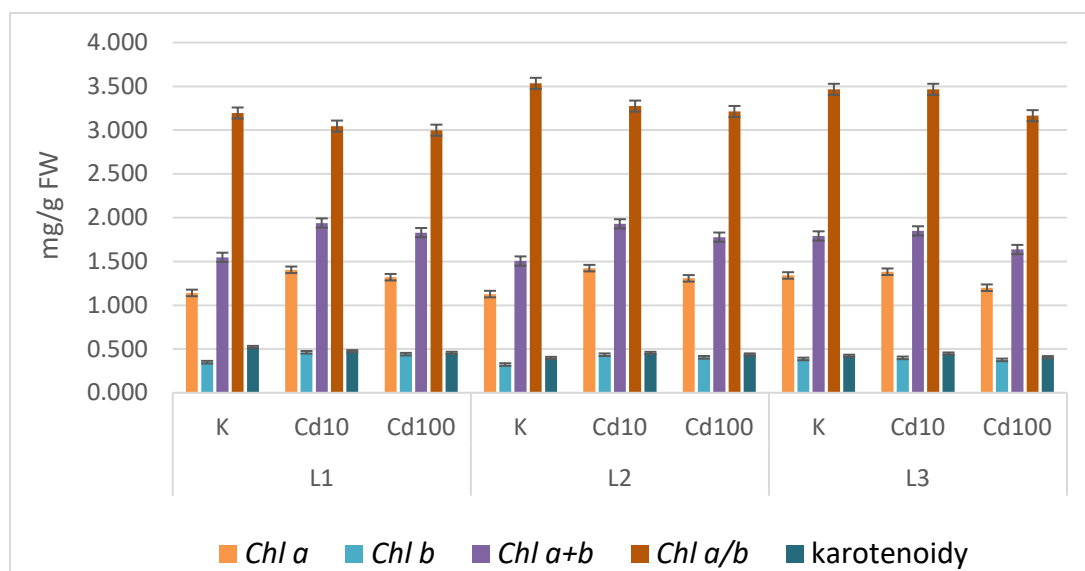
V obsahu fotosyntetických pigmentov sme zaznamenali výsledky, ktoré sú veľmi podobné výsledkom pri prolíne. Potvrdilo sa prvé rozlíšenie odrôd. Pri tolerantnej odrode Adesa sme zaznamenali skoro všade vyššie obsahy vo variante Cd100 v porovnaní s Cd10, pri odrode Albenga to bolo opačne (Garf 2, Graf 3). Citlivosť sa preukázala predovšetkým v nižšom obsahu Chl *b*, čo sa prejavilo vo vyšších hodnotách Chl *a/b* pri odrode Albenga. Štatisticky významný rozdiel dokumentujeme len pri L2 Adesa, vo variante Cd100. Ďalšia štúdia pri kukurici ukázala, že Cd nepriaznivo ovplyvňuje najmä Chl *b*, čo vedie k zvýšeniu pomeru Chl *a/b* [17]. Zvýšenie obsahu chlorofylov pri zvýšenej dávke kadmia v kombinácii s vysokou teplotou bolo zaznamenané aj pri pšenici [18]. Stimulácia nízkou dávkou a inhibícia vysokou dávkou Cd, označovaná ako „horméza“, bola pozorovaná u viacerých organizmov. V obsahu chlorofylov a karotenoidov to dokumentuje aj práca zameraná na divý typ sóje [19]. V našich výsledkoch sme tento aspekt zaznamenali pri chlorofyloch v prípade citlivej odrody Albenga.



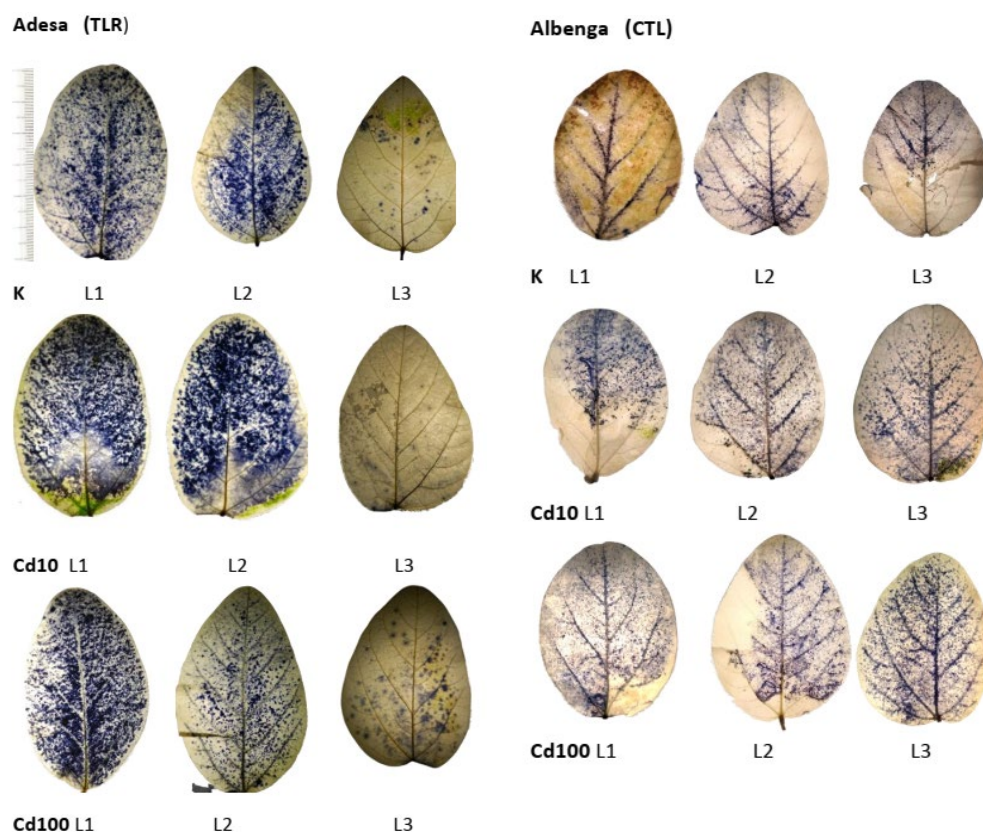
Graf 1: Obsah prolínu v listoch dvoch sledovaných odrôd; * $p < 0,05$



Graf 2: Obsah fotosyntetických pigmentov v listoch tolerantnej odrody Adesa; * $p < 0,05$



Graf 3: Obsah fotosyntetických pigmentov v listoch citlivej odrody Albenga



Obrázok 1: Akumulácia superoxidového radikálu v listoch sledovaných odrôd

Zvýšená produkcia kyslíkových radikálov je veľmi častým javom, ktorý sprevádza stresovú reakciu rastlín aj pri kontaminácii kadmom. Naše pozorovania sme doplnili o *in situ* vizualizáciu prítomnosti O_2^- v listoch stresovaných rastlín. Na obr. 1 je dokumentovaný trend, ktorý sme zaznamenali aj pri vyššie uvádzaných výsledkoch. Rozdiel medzi odrodami bol jednoznačný. Pri tolerantnej odrode Adesa vidíme výrazné znižovanie akumulácie v línii L3 –

L1 vo všetkých variantoch a rovnako platí aj trend $Cd100 > Cd10$. Pri citlivej odrode Albenga prevažuje trend nárastu od L1 po L3 a rozdiel medzi variantmi Cd10 a Cd100 je veľmi odlišný od tolerantnej odrody.

ZÁVER

Na základe našich pozorovaní môžeme konštatovať, že sa potvrdil rozdiel medzi odrodami, aj keď pri krátkodobom pôsobení kadmia sa obe odrody celkovo prejavili ako schopné znášať aj pomerne vysokú záťaž kadmia v substráte. Štatisticky preukazné rozdiely sme zaznamenali len pri tolerantnej odrode Adesa a to v prospech kadmiových variantov v obsahu prolínu a v pomere Chl *a/b*. Ontogenetický aspekt v obsahu fotosyntetických pigmentov a tiež prolínu bol v porovnaní odrôd opačný. Platí to hlavne pre variant Cd100. Pri tolerantnej odrode Adesa rástol obsah od L1 po L3, pri citlivej (Albenga) v tejto línii klesal. Detekcia prítomnosti superoxidového radikálu významne podčiarkla status tolerancie a citlivosti skúmaných odrôd.

LITERATÚRA

- /1/ Singh, R. J., Hymowitz, T. (1999). Soybean genetic resources and crop improvement. In *Genome*, 42, p. 605–616. DOI: 10.1139/gen-42-4-605
- /2/ Gill, S. S., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Macovei, A., Tuteja, N. (2013). Importance of nitric oxide in cadmium stress tolerance in crop plants. In *Plant physiology and biochemistry*, vol. 63, p. 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.12.001>
- /3/ Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. (2005). Cadmium Toxicity in Plants. In *Brazilian Journal of Plant Physiology*. vol. 17, no. 1, p. 21–34. https://www.researchgate.net/publication/262653187_Cadmium_Toxicity_in_Plants
- /4/ Hayat, S., Hayat, Q., Alymeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., Ahmad, A. (2012) Role of proline under changing environments: a review. In *Plant signaling & behavior*. vol. 7, no. 11, p. 1456–1466. <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
- /5/ Zouari, M., Hassena, A.B., Trabelsi, L., Rouina, B.B., Decou, R., Labrousse, P. (2019). Exogenous Proline-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants: Possible Mechanisms. In *Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants*. p.99–121. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27423-8_4
- /6/ Spormann, S., Soares, C., Martins, V., Azenha, M., Gerós, H., Fidalgo, F. (2022). Early Activation of Antioxidant Responses in Ni-Stressed Tomato Cultivars Determines Their Resilience Under Co-Exposure to Drought. In *Journal Plant Growth Regulation*. vol. 42, p. 877–891. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10595-4>
- /7/ Alvarez, M. E., Savouré, A., Szabados, L. (2022). Proline metabolism as regulatory hub. In *Trends in plant science*. vol. 27, no. 1, p. 39–55. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.07.009>
- /8/ Sun, R. L., Zhou, Q. X., Sun, F. H., Jin, C. X. (2007). Antioxidative Defense and Proline/Phytochelatin Accumulation in a Newly Discovered Cd-Hyperaccumulator, *Solanum nigrum* L. In *Environmental and Experimental Botany*. vol. 60, p.468–476. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.01.004>
- /9/ Maksymiec, W. (2011). Effects of jasmonate and some other signalling factors on bean and onion growth during the initial phase of cadmium action. *Biol Plant* 55, 112–118. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0015-9>
- /10/ Tantray, A.Y., Bashir, S.S., Ahmad, A. (2020). Low nitrogen stress regulates chlorophyll fluorescence in coordination with photosynthesis and Rubisco efficiency of rice. In *Physiology and Molecular Biology of Plants*.vol. 26 (1), 83–94. doi: 10.1007/s12298-019-00721-0
- /11/ Xue, Z.C., Gao, H.Y. & Zhang, L.T. (2013). Effects of cadmium on growth, photosynthetic rate and chlorophyll content in leaves of soybean seedlings. In *Biologia Plantarum*.vol. 57 (3), p. 587–590 <https://doi.org/10.1007/s10535-013-0318-0>
- /12/ Liu, J., Ni, J., Mo, A., Fan, X., Jiang, Y., Xie, H., Hu, J., Zhu, Y., Peng, C. & Yang, F. (2023). Cadmium affects the growth, antioxidant capacity, chlorophyll content, and homeostasis of essential elements in soybean plants. *South African Journal of Botany*, 162, 604–610. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.09.059>

- /13/ Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of totalcarotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. In *BiochemSocTrans*; 11 (5): 591–592. doi: <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- /14/ Sanchez, E., Ruiz, J. M., & Romero, L. 2001. The response of proline metabolism to nitrogen deficiency in pods and seeds of Frenchbean (*Phaseolusvulgaris* L cv Strike) plants. In *Journal of theScience of Food and Agriculture*, 81(15), 1471-1475. <https://doi.org/10.1002/jsfa.966>
- /15/ Lu, W., Chu, X., Li, Y., Wang, C., &Guo, X. (2013). Cotton GhMKK1 induces the tolerance of salt and droughtstress, and mediates defence responses to pathogen infection in transgenic *Nicotiana benthamiana*. In *PloSone*, 8(7), e68503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068503>
- /16/ Yang, S., Xie, J., & Li, Q. (2012). Oxidative Response and Antioxidative Mechanism in Germinating Soybean Seeds Exposed to Cadmium. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 9(8), p, 2827–2838. <https://doi.org/10.3390/ijerph9082827>
- /17/ Ekmekçi, Y., Tanyolac, D., Ayhan, B. (2008). Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. In *Journal of Plant Physiology*, vol. 165(6). p 600-611. DOI: 10.1016/j.jplph.2007.01.017
- /18/ Eregün, N., Karanlık, S., & Tiryakioglu, M. (2021). Effects of cadmium and high temperature on chlorophyll and mineral nutrient contents in *Triticum aestivum* L. seedlings. In *Applied Ecology and Environmental Research*. Vol, 19(5).p. 3443-3452 http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1905_34433452
- /19/ Liu, L., Shang, Y. K., Li, L., Chen, Y. H., Qin, Z. Z., Zhou, L. J., Yuan, M., Ding, C.B., Lju, J. Huang, Y., Zhou, Y. H. & Liao, J. Q. (2018). Cadmium stress in Dongying wild soybean seedlings: growth, Cd accumulation, and photosynthesis. In *Photosynthetica*, vol. 56, p. 1346–1352. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0844-2>

Pod'akovanie

Táto práca vznikla s finančnou podporou výskumného zámeru VEGA 1/0215/25.

VPLYV ABIOTICKÝCH ENVIRONMENTÁLNÝCH STRESOROV NA FLUORESCENCIU A OBSAH CHLOROFYLU *ZE A MAYS* (L.)

*THE IMPACT OF ABIOTIC ENVIRONMENTAL STRESSORS ON FLUORESCENCE AND CHLOROPHYLL CONTENT IN *ZE A MAYS* (L.)*

Judita Tomaškinová¹, Ján Tomaškin²

¹ Malta College of Arts, Science and Technology, Applied Research and Innovation Centre, Main Campus, Triq Kordin, Paola, PLA 9032. Malta, judita.tomaskinova@mcast.edu.mt

² Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, FPV, Katedra biológie a environmentálnych štúdií, Tajovského 40, 974 04 Banská Bystrica, Slovenská republika, jan.tomaskin@umb.sk

Summary

In the paper, we present examples of the impact of selected abiotic environmental stressors (soil salinity, industrial pollution – soil contamination with aluminum and soil drought) on the vitality of *Zea mays* (L.) maize plants. Plants usually respond to persistent stress conditions by reducing vitality, photosynthesis, reducing the content of photosynthetic pigments, etc., which can lead to plant death. As a suitable method of stress detection, the chlorophyll fluorescence reaction (Yield Y (II) and Fv/Fm tests) and its content in plant tissues are used. In the above brief overview, we also present some measures to alleviate (eliminate) stress, e.g. in the case of high soil salinity, the application of biochar, in the case of plants stressed by aluminum, the application of humic acids to their leaves, in the case of stress caused by drought, sufficient nutrition of the stands (higher doses of nitrogen), selection of resistant maize genotypes, application of growth regulators, etc.

Key words: aluminum contamination, corn, drought stress, environmental stress, chemical stressor, chlorophyll, chlorophyll fluorescence, soil acidification, soil salinization, Zea mays

Súhrn

V príspevku uvádzame príklady vplyvu vybraných abiotických environmentálnych stresorov (salinita pôdneho prostredia, priemyselné znečistenie – kontaminácia pôdy hliníkom a pôdne sucho) na vitalitu rastlín kukurice *Zea mays* (L.). Na pretrvávajúce stresové podmienky rastliny reagujú zvyčajne znížením vitality, fotosyntézy, znížením obsahu fotosyntetických farbív a pod. čo môže viesť až k úhynu rastlín. Ako vhodná metóda detekcie stresu sa používa reakcia fluorescence chlorofylu (testy Yield Y (II) a Fv/Fm) a jeho obsah v pletivách rastlín. V uvedenom stručnom prehľade uvádzame aj niektoré opatrenia na zmiernenie (elimináciu) stresu, napr. v prípade vysokej pôdnej salinity aplikácia biouhľia, pri rastlinách stresovaných hliníkom aplikácia humínových kyselín na ich listy, pri strese spôsobeným suchom dostatočná výživa porastov (vyššie dávky dusíka), výber odolných genotypov kukurice, aplikácia regulátorov rastu a podobne.

Klíčové slova: environmentálny stres, fluorescencia chlorofylu, chemický stresor, chlorofyl, kontaminácia hliníkom, kukurica, okyslenie pôdy, stres zo sucha, zasolenie pôdy, Zea mays

ÚVOD

Biotické a abiotické činitele, ktoré negatívne ovplyvňujú rast a vývoj rastlín v normálnom životnom prostredí, sú hodnotené ako stresové faktory (stresory) a môžu u rastlín vyvolať stres. Stres definujeme ako záťaž rastlinného organizmu spôsobená mimoriadne nepriaznivými podmienkami okolitého prostredia a odpoveď organizmu na novovzniknutú situáciu, resp. reakcia rastlín na nepriaznivú zmenu rastových podmienok. Následky stresu sú: zníženie efektívnosti biochemických a fyziologických procesov rastlín, pokles aktivity fotosyntetického aparátu rastlín, genetické zmeny, mutácie a pod. Výsledkom je najčastejšie: poškodenie, poranenie až úhyn rastlín, ale rastliny si môžu vytvoriť aj obranné mechanizmy, ako sú adaptácie, tolerancia, odolnosť a rezistencia k stresorom.

Závažnými environmentálnymi problémami na úrovni pôdy sú jej degradácia a kontaminácia. V príspevku uvádzame vybrané abiotické environmentálne stresory (salinita, priemyselné znečistenie – kontaminácia pôdy hliníkom a pôdne sucho) a ich vplyv na vitalitu rastlín kukurice. Uvedené faktory pôsobia ako hlavné abiotické stresory, ktoré narúšajú enzymatické, fyziologické, anatomicko-morfologické a ďalšie mechanizmy rastlín, výrazne znižujú vitalitu, produktivitu a úrody porastov /1, 2/. Tieto stresory ovplyvňujú príjem vody, živín a pod., vyvolávajú iónovú toxicitu a spôsobujú oxidačné poškodenie buniek a celých pletív, čo vedie k zhoršeniu fotosyntézy, k zníženému rastu a strate výnosu. Stresory majú často negatívny vplyv aj na zdravotný stav vegetácie a v konečnom dôsledku môže dôjsť k odumretiu jednotlivých rastlín alebo celej populácie /3, 4/.

V minulosti väčšina štúdií, ktoré sa zaoberali vplyvom stresu na rastliny používali biochemické indikátory, informácie o biomase a fotosyntetické parametre, zatiaľ čo len málo štúdií použilo kinetiku fluorescencie chlorofylu. Chlorofyl fluorescenčná kinetika označuje technické prostriedky na analýzu informácií o distribúcii svetelnej energie listov rastlín prostredníctvom fluorescencie chlorofylu a umožňuje rýchlu, nedeštruktívnu a presnú detekciu a analýzu fotosyntetických orgánov a dokonca aj zdravotného stavu samotnej rastliny /5, 6/. Prvým prejavom stresu rastlín alebo ich listov je poškodenie asimilačného aparátu, najmä fotosystému II (PSII). Meranie fluorescencie chlorofylu poskytuje informáciu o tom, do akej miery je PSII schopný absorbovať a využiť fotosynteticky účinné žiarenie. Obsah chlorofylu v listoch a parametre fluorescencie chlorofylu možno použiť ako indikátory stresu vyvolaného abiotickými environmentálnymi stresormi /7/. Fluorescencia chlorofylu, produkovaná molekulou chlorofylu po excitácii svetlom, je nedeštruktívnym biomarkerom na hodnotenie stresových účinkov na PSII /8, 9/. Fluorescencia chlorofylu sa zaznamenáva chlorofylovým fluorometrom s využitím testov Yield Y (II) a Fv/Fm (Fv – variabilná fluorescencia, Fm – maximálna fluorescencia). Tieto testy sú štandardné záťažové testy, ktoré sa používajú na identifikáciu a kvantifikáciu úrovne stresu v rastlinách. Výsledkom meraní je efektívny kvantový výťažok PSII - Y (II), ktorý sa meria počas denného svetla a maximálny kvantový výťažok PSII (Fv/Fm), ktorý sa meria po zatienení listov. Pre väčšinu rastlinných druhov sa optimálne hodnoty Fv/Fm pohybujú od 0,79 do 0,84, znížené hodnoty poukazujú na stres rastlín /7/. Taktiež Linda et al. /10/ konštatujú, že pomer Fv/Fm sa s narastajúcou intenzitou stresu znižuje, pokles Fv/Fm pod 0,7 spravidla značí nástup stresových podmienok. Hodnoty okolo

0,6 a nižšie poukazujú na prítomnosť silných stresorov a poškodenie začína byť vo viacerých prípadoch viditeľné. Stresovú reakciu rastlín detekuje aj obsah chlorofylu. Pavlovič et al. /11/ konštatujú, že rastlinný pigment chlorofyl má rozhodujúci význam v procese fotosyntézy pre syntézu organických látok a tvorbu biomasy. Na pôsobenie rôznych stresových faktorov reaguje chlorofyl veľmi citlivo a to znížením svojho obsahu a zmenou fluorescencie (pokles Fv/Fm). Viaceré štúdie aj zo Slovenska potvrdili, že abiotické faktory prostredia spôsobili zmeny v obsahu chlorofylu v listoch rastlín /12, 13, 14/.

ABIOTICKÉ ENVIRONMENTÁLNE STRESORY A ICH VPLYV NA KUKURICU

Salinita pôdneho prostredia

Salinita je hlavným abiotickým stresovým faktorom, ktorý znižuje produktivitu rastlín na zavlažovaných aj nezavlažovaných poľnohospodárskych pôdach, najmä v polosuchých a suchých krajinách na celom svete /15, 16/. Viac ako 7 % svetovej pôdy je ovplyvnených sodicitou alebo slanosťou /17/. Liu a kol. /18/ uvádzajú, že rozloha zasolenej pôdy vo svete je až 954 miliónov hektárov, pričom pokrýva všetky kontinenty. V posledných rokoch sa salinizácia pôdy stala rastúcim globálnym trendom /19/. Slanosť pôdy je hlavným dôvodom, prečo je narušené hospodárenie rastlín s vodou. Rastlina spotrebuje viac energie a spotrebuje menej vody v obdobiach, keď koncentrácia soli v koreňovej zóne zostáva. To má za následok stratu úrody a kvality z hľadiska rastlinnej výroby. Na zníženie týchto strát v slaných pôdach sú potrebné odolné druhy a odrody rastlín /20/. Známe je, že niektoré rastliny mierne znášajú slané podmienky, zatiaľ čo mnohé rastliny negatívne ovplyvňujú aj nízke hladiny soli. Salinita negatívne ovplyvňuje rast a produktivitu rastlín vo všetkých štádiách vývoja /21/. Oral et al. /22/ odporúčajú, že v prípadoch, keď sa problém so slanosťou v pôde nedá vyriešiť v krátkodobom horizonte, najzákladnejším prístupom, ktorý treba dodržiavať, je identifikovať druhy odolné voči soli. Solný stres negatívne ovplyvňuje rast a produktivitu rastlín vyvolaním osmotického a iónového stresu, predovšetkým v dôsledku nadmernej akumulácie Na^+ a Cl^- v chloroplastoch, čo narúša transport elektrónov a aktivitu fotosystému II (PSII). Zvýšená slanosť, často spôsobená NaCl, obmedzuje vodný potenciál, vyvoláva oxidačný stres a bráni základným funkciám buniek. Dôsledky zahŕňajú skrátenie dĺžky výhonkov, zníženie produkcie biomasy, zníženie obsahu chlorofylu a karotenoidov, zníženie fotosyntézy a dýchania v dôsledku poškodenia bunkovej membrány a narušenia enzymatickej činnosti /23, 24, 25, 26, 27/.

Kukurica sa považuje za stredne citlivý druh s ohľadom na stres zo slanosti, tolerancia soli sa uvádza do 1,8 dS/m /28/. Farooq a kol. /29/ konštatujú, že v podmienkach stresu salinity pôdneho prostredia sa znižuje fotosyntetická aktivita kukurice. S poklesom je spojený aj pokles fotosyntetických pigmentov, ako sú chlorofyly a a b a karotenoidy. Navyše, maximálny kvantový a fotónový výťažok fotosystému II a čistá rýchlosť fotosyntézy sa tiež znížila v dôsledku degradácie chlorofylu a karotenoidov. Soothar a kol. /30/ uvádzajú rôzne stratégie na minimalizáciu vplyvu stresu zo soli na rastliny kukurice. Medzi tieto stratégie patrí vylúhovanie solí, nahradenie Na^+ aplikáciou sadry (CaSO_4), pestovanie odrôd tolerantných voči soli, fyto-remediácia a aplikácia rôznych organických materiálov (rastlinné zvyšky, kompost, biochar - biouhlie, organická hmota, hydínový trus, ryžový trus). Uvedené dopĺňajú Farooq a kol. /29/, konštatujú, že rastliny kukurice prechádzajú rôznymi adaptáciami na subcelulárnej, bunkovej a

orgánovej úrovni, aby úspešne rástli v slanom prostredí. Rezistencia voči soli je komplexný jav, rastliny kukurice vykazujú niekoľko adaptácií, ako je regulácia prieduchov, zmeny normonálnej rovnováhy, aktivácia antioxidačného obranného systému, osmotická úprava, udržiavanie obsahu vody v tkanivách a rôzne mechanizmy vylučovania toxických iónov pri strese zo soli. Poukazujú tiež na význam arbuskulárnych mykoríznych húb (prenikajú do kortikálnych buniek koreňov cievnatých rastlín a vytvárajú jedinečné štruktúry, arbuskuly a vezikuly a pomáhajú rastlinám zachytávať živiny), ktoré zlepšujú odolnosť kukurice voči soli vďaka lepšej dostupnosti živín pre rastliny. Soothar a kol. /30/ hodnotili stupňované dávky biouhlia v slanom prostredí (plus kontrola) na obsah chlorofylu a jeho fluorescenciu (Fv/Fm) kukurice. Pri kontrole zaznamenali obsah chlorofylu 42 jednotiek SPAD, pri variantoch v slanom pôdnom prostredí s vyššími dávkami biouhlia došlo k miernemu zníženiu na hodnoty 38-39 SPAD, ale rozdiely neboli oproti kontrole signifikantne nižšie. Varianty, kde dominovalo slané prostredie a podiel biouhlia bol nízky vykazovali obsah chlorofylu preukazne nižšie ako kontrola (28-32 SPAD). Podobnú tendenciu zaznamenali aj pri fluorescencii, vysoké hladiny biouhlia v rastlinách vystavených vyššiemu stresu zo soli zaznamenali väčšiu fluorescenciu chlorofylu (pri kontrole Fv/Fm = 0,81, pri vysokých hladinách biouhlia Fv/Fm = 0,88, čo predstavuje signifikantný rozdiel). Záverom konštatujú, že vyššie dávky biouhlia (30 a 45 g/kg pôdy) u rastlín vystavených soľnému stresu (1 a 1,5 % soli) malo pozitívny vplyv na rastové vlastnosti, chlorofyl SPAD, fluorescenciu listov a koncentráciu živín v nadzemných a podzemných častiach (výhonok a koreň) sadeníc kukurice. Výsledky ďalšieho zaujímavého experimentu reakcie dvoch odrôd kukurice na salinitu pôdného prostredia publikovali Kaya a kol. /31/. Na zmiernenie stresu aplikovali do zasolenej pôdy humínové kyseliny (sú bežnou súčasťou pôdného humusu, kompostu, organických hnojív). Popri viacerých rastovo-produkčných parametroch hodnotili aj obsah a fluorescenciu chlorofylu. Soľný stres (100 mM NaCl) oproti kontrole spôsobil značný pokles čerstvej a suchej biomasy rastlín, maximálneho kvantového výťažku (Fv/Fm) aj obsahu chlorofylu. Pri kontrolnom variante zaznamenali Fv/Fm = 0,786 resp. 0,687, pri variante 100 mM NaCl nastal výrazný pokles na hodnoty 0,312 resp. 0,295 a pri listovej aplikácii humínových kyselín na kukuricu pestovanú v zasolenom pôdnom prostredí sa hodnoty Fv/Fm signifikantne zvýšili (aj keď nedosiahli hodnoty kontroly) na 0,516 resp. 0,478 čo dokumentuje pozitívny vplyv humínových kyselín tlmiť stresovú reakciu rastlín v zasolenom pôdnom prostredí. Podobnú tendenciu zaznamenali aj pri obsahu chlorofylu. Na kontrolnom variante zaznamenali obsah chlorofylu 1267 resp. 1195 mg.kg⁻¹ čerstvej fyto-masy, pri variante 100 mM NaCl signifikantne menej 1069 resp. 1002 a pri aplikácii humínových kyselín v zasolenom pôdnom prostredí 1196 resp. 1120 mg.kg⁻¹ čerstvej fyto-masy. Uvedené výsledky dokumentujú, že stres vyvolaný soľou výrazne znížil Fv/Fm aj obsah chlorofylu a to pri oboch skúmaných odrodách kukurice. Tento stres výrazne tlmia humínové kyseliny aplikované na listy kukurice.

Kontaminácia pôdného prostredia hliníkom

Kovy vrátane hliníka sú významnými abiotickými stresormi v rastlinách, najmä v kontaminovaných (problém v Maďarsku pri ťažbe bauxitu, taktiež na Slovensku pri spracovaní bauxitu a výrobe hliníka v Žiari nad Hronom) alebo kyslých pôdach. Hliník, ktorý tvorí približne 7 – 8,3 % zemskej kôry, sa zvyčajne vyskytuje v netoxických formách, ale v kyslých podmienkach sa stáva toxickým ako Al³⁺ ([Al(H₂O)₆]³⁺), čo postihuje takmer 40 % ornej pôdy

na svete. Toxický Al^{3+} znižuje vitalitu rastlín, výnos a fotochemickú účinnosť, pričom inhibuje fotosyntézu a syntézu pigmentov /32, 33, 34/.

Chauhan a kol. /35/ konštatujú, že minerály obsahujúce Al rozpustené v pôdnom roztoku spôsobujú niekoľko negatívnych účinkov na rastliny, keď sú prijímané spolu s inými živinami. Navyše, mikromolárna koncentrácia Al prítomného v pôde stačí na vyvolanie niekoľkých nezvratných symptómov toxicity, ako napríklad rýchla a nadmerná tvorba reaktívnych foriem kyslíka, ako je superoxid anión (O_2^-), peroxid vodíka (H_2O_2) a hydroxylový radikál (OH), čo vedie k silným oxidačným reakciám. Stres z toxicity Al mení kritickú rovnováhu medzi produkciou reaktívnych foriem kyslíka a tlmiacou aktivitou antioxidantov, čo vedie k oxidačnému stresu, ktorý poškodzuje rastliny. Okrem toho dochádza k výraznému zníženiu príjmu vody a živín, čo predstavuje pre rastliny vážny stres. Niektoré rastliny (vrátane kukurice) si však vyvinuli na hliník toleranciu a to sekréciu organických kyselín, ako je citrát, malát a oxalát zo svojich koreňov. Gény zodpovedné za kódovanie týchto organických kyselín hrajú kľúčovú úlohu v tolerancii hliníka.

Malekzadeh a kol. /36/ skúmali účinky toxicity rôznych koncentrácií hliníka (0, 25, 50, 75 a 100 mM $AlCl_3$) na hmotnosť výhonkov, koreňov, obsah pigmentov a antioxidačných enzýmov kukurice. Rastliny vystavené Al vykazovali výrazný pokles rastu, obsahu pigmentov aj aktivity antioxidačných enzýmov. Z rastlinných pigmentov hodnotili obsah chlorofylu a, b a karotenoidov. Na kontrolnom variante zaznamenali obsah a chlorofylu 2,09, b chlorofylu 0,87 a karotenoidov 0,526 mg/g čerstvej hmotnosti. Postupne pri všetkých stupňovaných koncentráciách hliníka (od 25 po 100 mM $AlCl_3$) obsah pigmentov signifikantne klesal. Chlorofyl a od 1,85 až po 1, 17, chlorofyl b od 0,62 až po 0,41 a karotenoidy od 0,503 až po 0,404 mg/g čerstvej hmotnosti, čo dokumentuje silnú stresovú reakciu rastlinných pigmentov na hliník. Mmayi a kol. /37/ konštatujú, že všeobecné účinky Al toxicity u rastlín zvyčajne zahŕňajú zmeny v raste rastlín, zníženie fotochemickej účinnosti fotosystému II (PS II), zníženie fotosyntézy a inhibíciu syntézy fotosyntetických pigmentov.

Nízke koncentrácie hliníka však môžu mať neutrálny alebo dokonca pozitívny vplyv na rast rastlín /32, 33, 34/. Qin a Chen /38/ uvádzajú, že Al pri nízkych koncentráciách v pôde nemusí byť bezprostredne toxický, toxickým sa stáva vtedy, keď koncentrácia prekročí určitú hranicu. Schopnosť plodiny tolerovať kritickú toxickú hodnotu hliníka je nasledovná: pšenica 4.0 cmol/kg, kukurica 4.8 cmol/kg, repka 4.0 cmol/kg, sója 5.2 cmol/kg, arašidy 4.4 cmol/kg. Táto kritická hodnota sa tiež mení s rôznymi fázami rastu a genotypmi plodín. Na genotypovú rôznorodosť línii kukurice v reakcii na kontamináciu hliníkom poukazujú aj Boscolo a kol. /39/. Uvádzajú, že niektoré línie kukurice sú tolerantné a iné citlivé.

Pôdne sucho

V dôsledku klimatickej zmeny a prehrievania našej planéty sa do popredia dostáva ďalší abiotický stresor – pôdne sucho. Kukurica je relatívne dobre prispôbená suchším podmienkam (napr. aj vďaka efektívnejšiemu C_4 cyklu asimilácie oxidu uhličitého v procese fotosyntézy) ale výraznejší deficit vlhky a teda pôdne sucho je aj pre ňu limitujúcim faktorom.

Bhusal a kol. /40/ uvádzajú, že kukurica je plodina citlivá na sucho, najmä v kritickom štádiu rastu, ako je štádium sadeníc. Stres zo sucha počas vegetatívneho rastu znižuje rast rastlín, znižuje listovú plochu a obvod stoniek, dochádza k zrolovaniu listov, predlžuje sa obdobie vegetatívneho rastu a skracuje obdobie rastu v reprodukčnom štádiu. Relatívny obsah

vody a vodný potenciál sa v stresových podmienkach znižuje. Osmolovskaya a kol. /41/ uvádzajú, že v podmienkach stresu zo sucha rastliny prechádzajú morfológickými a fyziologickými zmenami. Tento proces možno rozdeliť do troch hlavných kategórií. Sú to únik zo sucha, vyhýbanie sa suchu a tolerancia voči suchu. Kombinovaný vplyv týchto stratégií je odolnosť voči suchu. Odolnosť voči suchu je schopnosť rastlín udržiavať priaznivú vodnú bilanciu a turgor (napätie pletív) v podmienkach vodného stresu. Únik zo sucha je stratégia, pri ktorej rastlina dokončí svoj životný cyklus pred nástupom sucha. Vykazuje sezónnu reakciu. Stratégia vyhýbania sa suchu integruje zvýšenie príjmu vody a zníženie strát vody rastlinami. Rastliny si vyvíjajú stratégie, ako je osmotická úprava, rozšírenie antioxidantnej kapacity a rozvoj tolerancie voči vysušeniu s cieľom rozvinúť toleranciu voči suchu.

Fotosyntéza, hlavná metabolická dráha v rastlinách, je citlivá na stres zo sucha a podieľa sa na reakcii rastlín na tento stres /42/. Fotosyntetické pigmenty sú suchom poškodené, čo znižuje účinnosť absorpcie svetla rastlinami /43/. Hoci uzatváranie prieduchov je spôsob, ako zmierniť nepriaznivé účinky sucha, zníženie otvárania prieduchov znižuje množstvo CO_2 vstupujúceho do listov, čo následne znižuje reakciu asimilácie uhlíka a tiež zníženie transpirácie znižuje absorpciu koreňov. Zistilo sa, že rastliny si po vonkajšej aplikácii regulátorov rastu rastlín vytvárajú toleranciu voči stresu. Xie a kol. /43/ skúmali úlohu 2-(3,4-dichlorophenoxy)triethylamine (DCPTA) na toleranciu voči stresu zo sucha u sadeníc kukurice. Výsledky ukázali, že aplikácia DCPTA zlepšila rast a fotosyntetickú aktivitu rastlín v podmienkach stresu zo sucha (na kontrolnom variante zaznamenali obsah a+b chlorofylu 5,44 mg/g čerstvej hmoty, na variantoch so stupňovanou dávkou DCPTA (5, 15, 25 mg/L) sa obsah chlorofylu signifikantne zvýšil na 5,52 resp. 5,68 až 5,90 mg/g čerstvej hmoty. Podobnú tendenciu zvýšenia mal aj obsah karotenoidov (na kontrole 2,31, pri aplikácii DCPTA sa obsah karotenoidov signifikantne zvýšil až na 2,49 mg/g čerstvej hmoty. Línie kukurice z tropických a subtropických oblastí mali vyššiu mieru prežitia v porovnaní s líniami z mierneho pásma.

Stres vyvolaný suchom skúmali na viacerých hybridoch kukurice aj Soufi a kol. /44/. Konštatujú, že stres významne znížil rast kukurice (priemer klasu), výnos (biologický výnos a index úrody) aj fluorescenciu chlorofylu. Hodnotili vplyv dusíkatého hnojenia (stupňované dávky 100, 200 a 300 kg. ha^{-1}) a rôznych genotypov kukurice a ich vzájomnú interakciu na zmiernenie stresových prejavov rastlín. Podľa ich výsledkov, hnojením dusíkom najmä pri dávke 300 kg. ha^{-1} sa v rastlinách kukurice v podmienkach stresu vyvolané suchom zvýšila produkcia úrod aj fluorescencia chlorofylu. Uvádzajú, že genotyp ovplyvnil iba malý počet hodnotených parametrov, naopak účinnejšia bola aplikácia dusíkatého chemického hnojiva, ktoré bolo účinnejšie na rast, produkciu aj fotosyntetickú schopnosť v porovnaní s genotypom. Uvedené potvrdili aj Van Hautegeem a kol. /45/. Soleymani a kol. /46/ zistili, že hnojenie dusíkom, genetické a environmentálne podmienky (stres zo sucha) významne ovplyvnili absorpciu svetla rastlinami jačmeňa a kukurice. Výsledky naznačujú, že hnojenie dusíkom môže zmierniť nepriaznivé účinky stresu zo sucha na rast a produkciu kukurice zlepšením fotosyntetickej schopnosti rastlín (fluorescencia chlorofylu). Je to spôsobené najmä prítomnosťou dusíka v štruktúrach chlorofylu a enzýmov nevyhnutných pre proces fotosyntézy a ďalších aktivít rastlín /44, 47, 48/. Účinky rôznych dávok dusíka na fotosyntézu a fluorescenciu chlorofylu pri genotypoch kukurice s rôznou toleranciou voči dostupnosti dusíka skúmali v poľnom a hydroponickom experimente Wu a kol. /49/. Zistili, že nízka hladina dusíka významne znížila fluorescenciu chlorofylu. Na význam genotypov eliminovať dôsledky stresu

poukazují aj Leng a kol. /50/ a Cooper a kol. /51/. Konstatují, že tolerantnější genotypy môžu byť v stresových podmienkach produktívnejšie, pretože využívajú fyziologické procesy, ktoré dokážu do určitej úrovne zvýšiť vitalitu rastlín. Taktiež Daei Alhag a kol. /52/ uvádzajú, že nepriaznivé účinky stresu negatívne pôsobia na fyziologické vlastnosti rastlín, znižujú účinnosť chlorofylu a naznačili, že správne kríženie a výber genotypov kukurice môže viesť k väčšej tolerancii kukurice na stres vyvolaný suchom. Výsledky viacerých prác /53, 54/ poukazujú na nepriaznivé účinky stresu zo sucha na obsah chlorofylu v rastlinách, proces fotosyntézy a fotochemická účinnosť, čo následne znižuje rast rastlín a produkciu úrody.

V závere svojej štúdie Soufi a kol. /44/ uvádzajú, že výskum (kukurica a pôdne sucho) by sa mal uberať nájdením najefektívnejších kombinácií genotypov kukurice s vhodnými dávkami dusíkatých hnojív, ktoré budú tolerantné na rôzne úrovne stresu zo sucha.

ZÁVER

V príspevku uvádzame príklady vplyvu vybraných abiotických environmentálnych stresorov (salinita pôdneho prostredia, priemyselné znečistenie – kontaminácia pôdy hliníkom a pôdne sucho) na vitalitu rastlín kukurice *Zea mays* (L.). Na pretrvávajúce stresové podmienky rastliny reagujú zvyčajne znížením svojej vitality, znížením príjmu vody, živín a pod. čo vedie k zníženiu efektivity fotosyntézy, zníženiu obsahu fotosyntetických farbív a pod. čo môže viesť až k úhynu individuálnych rastlinných jedincov až celých porastov.

Ako vhodná metóda detekcie stresu rastlín sa používa reakcia fluorescencie chlorofylu a jeho obsah v pletivách rastlín. Meranie fluorescencie chlorofylu poskytuje informáciu o tom, do akej miery je PSII schopný absorbovať a využiť fotosynteticky účinné žiarenie. Obsah chlorofylu v listoch a parametre fluorescencie chlorofylu možno použiť ako indikátory stresu vyvolaného abiotickými environmentálnymi stresormi. Fluorescencia chlorofylu, produkovaná molekulou chlorofylu po excitácii svetlom je nedeštruktívnym biomarkerom na hodnotenie stresových účinkov na PSII. Rýchla detekcia stresu umožňuje použiť vhodné opatrenia na zmiernenie negatívnych prejavov stresu. V uvedenom stručnom prehľade uvádzame aj niektoré opatrenia na zmiernenie, prípadne elimináciu stresu, napr. v prípade vysokej pôdnej salinity aplikácia biouhlia, aplikácia humínových kyselín na listy stresovaných rastlín hliníkom, dostatočná výživa porastov (vyššie dávky dusíka), výber odolných genotypov (línii) kukurice, aplikácia regulátorov rastu pri strese spôsobeným suchom a podobne.

LITERATÚRA

- /1/ Angon, P.B., Islam, M.S., Shreejana, K.C., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., Suchi, S.A.: Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10, 2024.
- /2/ Midula, P., Andráš, P., Ševčíková, J., Wiche, O.: Phytoaccumulation of Mercury into Vascular Plants at Area of Abandoned Hg-Ore Deposit Malachov (Central Slovakia). *Carpathian J. Earth Environ. Sci.*, 18, 2023: 225–229.
- /3/ Ševčíková, J., Midula, P., Olšavský, M., Mikušová, J., Kupcová, E., Benická, B.: After-remediation monitoring of PAH concentration in groundwater of airport Sliač-Southern region (Slovakia). *Carpathian J. Earth Environ. Sci.*, 16, 2021: 483–491.
- /4/ Plesa, I.M., González-Orenga, S., Al Hassan, M., Sestras, A.F., Vicente, O., Prohens, J., Sestras, R.E., Boscaiu, M.: Effects of drought and salinity on European larch (*Larix decidua* Mill.) seedlings. *Forests*, 9, 2018: 320.
- /5/ Dhara, A., Satish, C.B.: Melatonin and nitric oxide regulate sunflower seedling growth under salt stress accompanying differential expression of Cu/Zn SOD and Mn SOD. *Free Radic. Biol. Med.*, 106, 2017: 315–328.

- /6/ Gorbunov, M.Y., Falkowski, P.G.: Using chlorophyll fluorescence kinetics to determine photosynthesis in aquatic ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 66, 2021: 1–13.
- /7/ Zurek, G., Rybka, K., Pogrzeba, M., Krzyzak, J., Prokopiuk, K.: Chlorophyll a Fluorescence in Evaluation of the Effect of Heavy Metal Soil Contamination on Perennial Grasses. *PLoS ONE*, 9, 2014.
- /8/ Nath, K., O'Donnell, J.P., Lu, Lu, Y.: Chlorophyll Fluorescence for High-Throughput Screening of Plants During Abiotic Stress, Aging, and Genetic Perturbation. In *Photosynthesis: Structures, Mechanisms, and Applications*; Hou, H., Najafpour, M., Moore, G., Allakhverdiev, S., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2017: 261–273.
- /9/ Martinez-Ferri, E., Zumaquero, A., Ariza, M.T., Barceló, A., Pliego, M.C.: Nondestructive detection of white root rot disease in avocado rootstocks by leaf chlorophyll fluorescence. *Plant Dis.*, 100, 2016: 49–58.
- /10/ Linda, R., Zádrapová, D., Křížová, K., Kuneš, I.: Měření obsahu a fluorescence chlorofylu v listech sadebního materiálu vybraných dřevin pomocí přenosných přístrojů (certifikovaná metodika) = Measurement of Chlorophyll Content and Fluorescence in the Leaves of Planting Material of Selected Tree Species Using Portable Devices (Certified Methodology); Linda, R., Ed.; Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: Straný, Czech Republic, 2019: 1–46.
- /11/ Pavlović, D., Nikolić, B., Đurović, S., Waisi, H., Anđelković, A., Marisavljević, D.: Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects. *Pestic. Fitomedicina*, 29, 2014: 21–34.
- /12/ Hric, P., Jancovic, J., Kovar, P., Vozar, L.: The dynamics of the assimilation pigments content of turf fertilized by various forms of fertilizers. *Agrochemistry*, 20, 2016: 3–7.
- /13/ Hric, P., Vozar, L., Kovar, P.: The changes of the assimilation pigments content of turf *Festuca* spp. leaves after application of different nutrition forms. *Acta Fytotech. Zootech.*, 21, 2018: 6–10.
- /14/ Kovar, P., Vozar, L., Hric, P.: *Establishment and Care of Lawns*, 1st ed.; Slovak Agricultural University: Nitra, Slovakia, 2022: 1–180.
- /15/ Butcher, K., Wick, A.F., Desutter, T., Chatterjee, A., Harmon, J.: Soil salinity: A threat to global food security. *Agron. J.*, 108, 2016: 2189–2200.
- /16/ Soliman, M., Elkelish, A., Souad, T., Alhaithloul, H., Farooq, M.: Brassinosteroid seed priming with nitrogen supplementation improves salt tolerance in soybean. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, 26, 2020: 501–511.
- /17/ Ruiz-Lozano, J.M., Porcel, R., Azcón, C., Aroca, R.: Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: New challenges in physiological and molecular studies. *J. Exp. Bot.*, 63, 2012: 4033–4044.
- /18/ Liu, L., Bai, X.G., Jiang, Z.D.: The generic technology identification of saline–alkali land management and improvement based on social network analysis. *Clust. Comput.*, 22, 2019: 13167–13176.
- /19/ Chang, X., Gao, Z., Wang, S., Chen, H.: Modelling long-term soil salinity dynamics using SaltMod in Hetao Irrigation District, China. *Comput. Electron. Agric.*, 156, 2019: 447–458.
- /20/ Oral, E., Altuner, F., Tunçtürk, R., Baran, İ.: The impact of salt (NaCl) stress on germination characteristics of gibberellic acid (GA3) pretreated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed. *KSU J. Agric. Nat.*, 23, 2020: 349–356.
- /21/ Miladinov, Z., Maksimovic, I., Balesević-Tubic, S., Djukic, V., Canak, P., Miladinovic, J., Djordjevic, V.: Priming seed mitigates the effects of saline stress in soybean seedlings. *Legume Res.*, 43, 2020: 263–267.
- /22/ Oral, E., Altuner, F., Tunçtürk, R., Tunçtürk, M.: The impact of salt (NaCl) stress on germination characteristics of gibberellic acid pretreated wheat (*Triticum durum* Desf) seeds. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 17, 2019: 12057–12071.
- /23/ AbdElgawad, H., Zinta, G., Hegab, M.M., Pandey, R., Asard, H., Abuelsoud, W.: High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. *Front. Plant Sci.*, 7, 2016: 76.
- /24/ EL Sabagh, A., Hossain, A., Barutçular, C., Iqbal, M.A., Islam, M.S., Fahad, S., Sytar O., Çiğ, F., Meena, R.S., Erman, M.: Consequences of Salinity Stress on the Quality of Crops and Its Mitigation Strategies for Sustainable Crop Production: An Outlook of Arid and Semi-arid Regions. In *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*; Fahad, S., Hasanuzzaman, M., Alam, M., Ullah, H., Saeed, M., Khan, I.A., Adnan, M., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020: 503–533.
- /25/ Van Zelm, E., Zhang, Y., Testerink, C.: Salt Tolerance Mechanisms of Plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 71, 2020: 403–433.
- /26/ Joshi, S., Nath, J., Singh, A.K., Pareek, A., Joshi, R.: Ion transporters and their regulatory signal transduction mechanisms for salinity tolerance in plants. *Physiol. Plant.*, 174, 2022: e13702.

- /27/ Hernández, J.A.: Salinity tolerance in plants: Trends and perspectives. *Int. J. Mol. Sci.*, 20, 2019: 2408.
- /28/ Grieve, C.M., Grattan, S.R., Maas, E.V.: Plant salt tolerance. In: *ASCE Manual and Reports on Engineering Practice*, Chapter 13, No. 71. In *Agricultural Salinity Assessment and Management* (2nd Edition); Wallender, W.W., Tanji, K.K., Eds.; ASCE, Reston: Virginia, 2012: 405–459.
- /29/ Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., Kadambot H. M.: Siddique Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. *A review. Agron. Sustain. Dev.*, 35, 2015: 461–481.
- /30/ Soothar, M.K., Mounkaila Hamani, A.K., Kumar Sootahar, M., Sun, J., Yang, G., Bhatti, S.M., Traore, A.: Assessment of Acidic Biochar on the Growth, Physiology and Nutrients Uptake of Maize (*Zea mays* L.) Seedlings under Salinity Stress. *Sustainability*, 13, 2021: 3150.
- /31/ Kaya, C., Akram, N.A., Ashraf, M., Sonmez, O.: Exogenous Application of Humic Acid Mitigates Salinity Stress in Maize (*Zea mays* L.) Plants by Improving some Key Physico-biochemical Attributes. *Cereal Research Communications*, 46, 2018: 67–78.
- /32/ Shamsi, I.H., Wei, K., Jilani, G., Zhang, G.P.: Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*, 8, 2007: 181–188.
- /33/ Liu, P., Yang, Y.S., Xu, G., Guo, S., Zheng, X., Wang, M.: Physiological response of four southern herbaceous plants to aluminium stress in South China. *Front. Biol. China*, 1, 2006: 295–302.
- /34/ Ying, X.F., Liu, P., Xu, G.D.: Effect of aluminum on the isozymes of the seedlings of two soybeans *Glycine max* (L.) Merrill varieties. *Plant Soil Environ.*, 52, 2006: 262–270.
- /35/ Chauhan, D.K., Yadav, V., Vaculik, M., Gassmann, W., Pike, S., Arif, N., Singh, V.P., Deshmukh, R., Sahi, S., Tripathi, D.K.: Aluminum toxicity and aluminum stress-induced physiological tolerance responses in higher plants. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41, 2021: 715–730.
- /36/ Malekzadeh, P., Sheikhabari Mehr, R., Hatamnia, A.A.: Effects of aluminum toxicity on maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 5, 2015: 1289–1296.
- /37/ Mmayi, M.P., Musyimi, D.M., Netondo, G.W., Sikuku, P.A.: Chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic pigments of four *Glycine max* varieties under Aluminium chloride stress. *Sci. Agric.*, 10, 2015: 84–94.
- /38/ Qin, R., Chen, F.: The aluminum toxicity of some crop seedlings in red soil of southern Hunan. *J. Plant Nutr. Fertil.*, 5, 1999: 50–55.
- /39/ Boscolo, P.R.S., Menossi, M., Jorge, R.A.: Aluminum-induced oxidative stress in maize. *Phytochemistry*, 62, 2003: 181–189.
- /40/ Bhusal, B., Poudel, M.R., Rishav, P., Regmi, R., Neupane, P., Bhattarai, K., Maharjan, B., Bigyan, K.C., Acharya, S.: A review on abiotic stress resistance in maize (*Zea mays* L.): effects, resistance mechanisms and management. *J. Biol. Today's World*, 10, 2021: 1–3.
- /41/ Osmolovskaya, N., Shumilina, J., Kim, A., Didio, A., Grishina, T., Bilova, T., Keltsieva, O.A., Zhukov, V., Tikhonovich, I., Tarakhovskaya, E., Frolov, A., Wessjohann, L.A.: Methodology of drought stress research: Experimental setup and physiological characterization. *International journal of molecular sciences*, 19, 2018: 4089.
- /42/ Meng, Q., Chen, X., Lobell, D.B., Cui, Z., Zhang, Y., Yang, H., Zhang, F.: Growing sensitivity of maize to water scarcity under climate change. *Scientific reports*, 6, 2016: 19605.
- /43/ Xie, T., Gu, W., Meng, Y., Li, J., Li, L., Wang, Y., Qu, D., Wei, S.: Exogenous DCPTA ameliorates simulated drought conditions by improving the growth and photosynthetic capacity of maize seedlings. *Scientific Reports*, 7, 2017: 12684.
- /44/ Soufi, M.H., Mobasser, H.R., Mehraban, A., Ganjali, H.R., Miri, K.: Corn (*Zea mays* L.) production and chlorophyll fluorescence affected by drought stress, N fertilization, and genotype, *Journal of Trace Elements and Minerals*, 12, 2025: 100237.
- /45/ Van Hautegeem, T., Takasaki, H., Lorenzo, C.D., Demuynck, K., Claeys, H., Villers, T., Sprenger, H., Debray, K., Schaumont, D., Verbraeken, L., Pevernagie, J.: Division zone activity determines the potential of drought-stressed maize leaves to resume growth after rehydration. *Plant Cell Environ.*, 48, 2025: 1242–1258.
- /46/ Soleymani, A.: Light response of barley (*Hordeum vulgare* L.) and corn (*Zea mays* L.) as affected by drought stress, plant genotype and N fertilization. *Biocat. Agric. Biotechnol.*, 11, 2017: 1–8.
- /47/ Guo, R., Qian, R., Yang, L., Khaliq, A., Han, F., Hussain, S., Zhang, P., Cai, T., Jia, Z., Chen, X., Ren, X.: Interactive effects of maize straw-derived biochar and N fertilization on soil bulk density and porosity, maize productivity and nitrogen use efficiency in arid areas. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 22, 2022: 4566–4586.

- /48/ Liang, X.G., Chen, H.M., Pan, Y.Q., Wang, Z.W., Huang, C., Chen, Z.Y., Tang, W., Chen, X.N., Shen, S., Zhou, S.L.: Yield more in the shadow: Mitigating shading-induced yield penalty of maize via optimizing source-sink carbon partitioning. *Europ. J. Agron.*, 162, 2025: 127421.
- /49/ Wu, Y.W., Qiang, L.I., Rong, J.I.N., Wei, Ch., Liu, X.L., Kong, F.L., Ke, Y.P., Shi, H.C., Yuan, J.C.: Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances. *J. Integr. Agri.*, 18, 2019: 1246–1256.
- /50/ Leng, P., Zhao, J.: Transcription factors as molecular switches to regulate drought adaptation in maize. *Theor. Appl. Genet.*, 133, 2020: 1455–1465.
- /51/ Cooper, M., Messina, C.D.: Breeding crops for drought-affected environments and improved climate resilience. *Plant Cell*, 35, 2023: 162–186.
- /52/ Daei Alhag, D., Rashidi, V., Aharizad, S., Farahvash, F., MirsShekari, B.: The traits affecting wheat grain yield and determining tolerant genotypes using drought indices. *Cereal Res. Commun.*, 50, 2022: 627–636.
- /53/ Song, Y., Li, J., Liu, M., Meng, Z., Liu, K., Sui, N.: Nitrogen increases drought tolerance in maize seedlings. *Func. Plant Biol.*, 46, 2019: 350–359.
- /54/ Badr, A., Brüggemann, W.: Comparative analysis of drought stress response of maize genotypes using chlorophyll fluorescence measurements and leaf relative water content. *Photosynthetica*, 58, 2020: 38–645.

Pod'akovanie

Predložený príspevok bol realizovaný s podporou projektu KEGA 015UMB-4/2025.

CHARAKTERIZACE A ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ ODPADU Z VÝROBY VÍNA U VYBRANÝCH ODRŮD RÉVY VINNÉ PĚSTOVANÉ V CHLADNÉM PROSTŘEDÍ

CHARACTERIZATION AND ENERGY VALIDATION OF WASTE FROM WINE PRODUCTION FOR SELECTED GRAPE VARIETIES GROWING IN COLD CLIMATES

Magdalena Kaplan¹, Kamil Buczynski¹, Grzegorz Maj², Kamila E. Klimek³, Anna Borkowska³, Radek Sotolář⁴, Richard Danko⁴, Mojmír Baroň⁴

¹ Univerzita biologických věd v Lublinu, Institut zahradnické produkce, Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polsko, magdalena.kaplan@up.lublin.pl

² Univerzita biologických věd v Lublinu, Katedra energetiky a dopravy, Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polsko, grzegorz.maj@up.lublin.pl

³ Univerzita biologických věd v Lublinu, Katedra aplikované matematiky a informatiky, Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polsko, anna.borkowska@up.lublin.pl

⁴ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická 337, 691 44 Lednice, ČR, radek.sotolar@mendelu.cz

Summary

This study investigated yield characteristics, grape morphology and energy potential of post-production waste – marc and pomace – of four grape varieties (Rysling, Chardonnay, Zweigeltrebe, Merlot) grown in the temperate climate zone of south-eastern Poland. Biometric evaluation showed significant differences between varieties: Chardonnay produced the smallest grapes but the heaviest berries; Merlot had the largest grapes; Riesling had the highest number of berries per bunch and the highest proportion of marc. Energy analyses showed that the calorific value of marc ranged from 15.98 MJ kg⁻¹ (Chardonnay) to 16.91 MJ kg⁻¹ (Riesling). The calorific value of marc was almost identical for all varieties (15.11–15.26 MJ kg⁻¹). Emission factors differed more significantly between varieties than between biomass types; the highest emissions were measured for Zweigeltrebe marc and the lowest for Merlot. The results show that grape waste from temperate vineyards is a suitable source of renewable energy and that varietal differences may be key to optimizing bioenergy and circular strategies in emerging wine regions.

Key words: grapevine, yield, wine production waste biomass, energy potential, biofuel

Souhrn

Tato studie zkoumala výnosové charakteristiky, morfologii hroznů a energetický potenciál povýrobního odpadu – třapin a matolin – u čtyř odrůd révy (Ryzlink rýnský, Chardonnay, Zweigeltrebe, Merlot) pěstovaných v mírném klimatickém pásmu jihovýchodního Polska. Biometrické hodnocení prokázalo významné rozdíly mezi odrůdami: Chardonnay vytvářel nejmenší hrozny, avšak nejtěžší bobule; Merlot měl hrozny největší; Ryzlink vykazoval nejvyšší počet bobulí v hroznu a největší podíl třapin. Energetické analýzy ukázaly, že výhřevnost

matolin se pohybovala od 15,98 MJ·kg⁻¹ (Chardonnay) do 16,91 MJ·kg⁻¹ (Ryzlink). Výhřevnost třapin byla téměř shodná u všech odrůd (15,11–15,26 MJ·kg⁻¹). Emisní faktory se výrazněji lišily mezi odrůdami než mezi typy biomasy; nejvyšší emise byly naměřeny u matolin odrůdy Zweigeltrebe a nejnižší u Merlotu. Výsledky ukazují, že odpad z vinic v mírném pásmu je vhodným zdrojem obnovitelné energie a že odrůdové rozdíly mohou být klíčové pro optimalizaci bioenergetických a cirkulárních strategií rozvíjejících se vinařských regionů.

Klíčová slova: réva vinná, výnos, biomasa, energetický potenciál, biopalivo

ÚVOD

Globální energetický systém čelí v posledních letech značné zátěži, která byla zesílena pandemií COVID-19 a geopolitickými událostmi, zejména konfliktem mezi Ruskem a Ukrajinou v roce 2022 /1/. Tyto události zdůraznily zranitelnost ekonomik založených na fosilních palivech a urychlily přechod k obnovitelným zdrojům energie. Bioenergie zaujímá v tomto procesu klíčové místo díky své obnovitelnosti, široké dostupnosti a schopnosti přispět k mitigaci klimatických změn /2, 3, 4/.

Agrární biomasa tvoří důležitou součást bioekonomiky a významně přispívá k energetické bezpečnosti i omezení emisí. Významným problémem posledních desetiletí je však rostoucí množství lignocelulózního odpadu produkovaného agroprůmyslem, což zvýšilo poptávku po technologiích, které tento odpad dokážou smysluplně využít v duchu cirkulární ekonomiky a principu „zero waste“ /5, 6, 7, 8, 9, 10/.

Vinařství je jedním z nejrozšířenějších odvětví zahradnické produkce, které každoročně vytváří přibližně 13 milionů tun pevného odpadu. Matoliny a třapiny tvoří jeho podstatnou část a svými vlastnostmi jsou vhodné pro energetické zpracování. Ve většině dosavadních výzkumů byla však pozornost věnována oblastem s teplejším klimatem. Naopak severněji položené, mírné vinařské regiony – jako je střední a východní Evropa – jsou z hlediska energetického potenciálu hroznového odpadu stále málo prozkoumané /11, 12, 13, 14, 15/.

Cílem této studie je podat komplexní hodnocení energetického potenciálu a emisních vlastností hroznových matolin a třapin pocházejících ze čtyř tradičních odrůd *Vitis vinifera* L. pěstovaných v podmínkách mírného pásma v Polsku.

MATERIÁL A METODY

Lokalita a vinice

Výzkum probíhal v roce 2023 na Pokusné vinici Univerzity přírodních věd v Lublinu. Lokalita se nachází v oblasti s mírným kontinentálním klimatem a hlubokými sprašovými půdami. Odrůdy Chardonnay, Merlot, Ryzlink rýnský a Zweigeltrebe byly vysazeny v roce 2020 v sponu 2,5 × 1,2 m (3333 keřů·ha⁻¹). Vedení keřů bylo provedeno systémem jednoduchého Guyotu. Sklizeň proběhla při cukernatosti 23,5–24,5 °Brix. Úprava a získání výsledných dat probíhalo dle metodiky Klimek a kol. 2024 /16, 17, 18, 19, 20/.

Odběr vzorků a biometrie

Pro každou odrůdu bylo odebráno 25 kg hroznů. U 50 hroznů na odrůdu se určovaly tyto parametry:

- hmotnost hroznů

- počet bobulí v hrozně
- hmotnost 10 bobulí
- průměr bobulí
- hmotnost, délka a šířka třapiny
- podíl třapiny na celkové hmotnosti hrozně

Měření byla prováděna laboratorní váhou AXIS A250 a digitálním posuvným měřidlem.

Experimentální uspořádání a statistika

Experiment byl založen v randomizovaném blokovém uspořádání s pěti opakováními. Rozdíly mezi odrůdami byly hodnoceny jednofaktorovou ANOVA ($p < 0,05$). Multivariační analýzy zahrnovaly shlukovou analýzu a analýzu hlavních komponent (PCA).

Sušení a mletí

Biomasa byla sušena 14 dní při 20 °C a 55–60 % relativní vlhkosti. Následně byla rozemleta v mlýnku Retsch SM 100 na frakci 0,5 mm.

Charakteristika paliva

Měřené parametry:

- výhřevnost HHV (EN ISO 1928:2020)
- obsah popela, těkavých látek a vlhkosti (EN ISO 18122–18134)
- obsah C, H, N (EN ISO 16948)
- obsah S (EN ISO 16994)
- obsah O dopočtem

Z HHV byla počítána nižší výhřevnost LHV.

Emisní faktory

Emisní faktory CO, CO₂, SO₂ a NO_x byly vypočítány podle standardních výpočtových metod pro biomasu. Současně byla stanovena teoretická potřeba kyslíku, stechiometrická spotřeba vzduchu a složení spalin.

VÝSLEDKY

Výsledné výsledkové tabulky a grafické zpracování, včetně interpretace byly z důvodu značného rozsahu adekvátně kráceny.

Biometrické charakteristiky hroznů a třapin

Biometrická analýza hroznů prokázala významné rozdíly mezi sledovanými kultivary *Vitis vinifera* L. (Tabulka 1). Chardonnay mělo nejnižší hmotnost hrozně (92.4 g), zatímco Merlot dosáhl nejvyšší průměrné hmotnosti (156.8 g). Ryzlink byl charakteristický nejvyšším počtem bobulí na hrozen (109 ks), což koreluje i s nejvyšším podílem třapiny v celkové hmotnosti hrozně (8.99 %). Tento parametr byl zároveň nejnižší u Merlotu (4.2 %), což naznačuje méně robustní třapinovou strukturu.

Tabulka 1. Biometrické charakteristiky hroznů a bobulí.

Parametr	Chardonnay	Merlot	Ryzlink	Zweigeltrebe
Hmotnost hrozně (g)	92.4 ± 14.2	156.8 ± 20.5	121.5 ± 18.9	134.2 ± 19.7
Počet bobulí (ks)	68 ± 10	84 ± 12	109 ± 15	95 ± 14
Průměr bobule (mm)	16.8 ± 1.1	15.9 ± 1.3	15.4 ± 1.1	16.1 ± 1.2
Hmotnost třapiny (g)	4.9 ± 0.8	6.5 ± 1.0	8.8 ± 1.3	7.4 ± 1.1
Podíl třapiny (%)	5.3	4.2	8.99	5.9

Ryzlink vykazoval nejvyšší zastoupení lignocelulózové frakce, která přímo ovlivňuje energetické parametry biomasy.

Tento vztah je patrný i v grafu 1, zobrazujícím podíl třapiny na hroznu. Ryzlink výrazně dominuje, což naznačuje potenciálně vyšší výnos třapinové biomasy na jednotku produkce.



Graf 1. Podíl třapiny v hroznu (%)

Energetické parametry biomasy (LHV, HHV, elementární složení)

Rozdíly mezi odrůdami se promítly také do fyzikálně-chemických parametrů biomasy (Tabulka 2).

Tabulka 2. Energetické a elementární charakteristiky biomasy.

Parametr	Chardonnay	Merlot	Ryzlink	Zweigeltrebe
LHV matolin ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	15.98	16.31	16.91	16.62
LHV třapin ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	15.11	15.15	15.26	15.18
Uhlík C (%)	47.5	48.1	48.6	48.3
Vodík H (%)	6.1	6.2	6.3	6.3
Dusík N (%)	1.50	1.21	1.43	1.62
Síra S (%)	0.08	0.05	0.07	0.09

Ryzlink měl nejvyšší LHV u obou typů biomasy, což je v souladu s jeho vyšším obsahem uhlíku a robustnější třapinou. Rozdíly mezi třapinami byly menší, což potvrzuje, že dřevnaté části hroznů jsou kompozičně stabilnější. Graf jasně ukazuje, že **matoliny mají vyšší výhřevnost než třapiny (u všech odrůd)**, a že Ryzlink rýnský má nejlepší energetické parametry.

Matoliny ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$):



Třapiny ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$):



Graf 2. Nižší výhřevnost biomasy – matoliny vs. třapiny

Emisní faktory a složení spalin

Emisní charakteristiky sledovaných kultivarů vykazovaly statisticky významné rozdíly (Tabulka 3). Nejnižší zátěž NO_x a CO₂ byla zaznamenána u Merlotu, zatímco nejvyšší emisní hodnoty vykazoval Zweigeltrebe.

Tabulka 3. Emisní a spalovací parametry biomasy.

Parametr	Chardonnay	Merlot	Ryzlink	Zweigeltrebe
CO ₂ (Nm ³ ·kg ⁻¹)	6.12	5.84	6.23	6.49
CO (g·kg ⁻¹)	52	41	47	60
NO _x (g·kg ⁻¹)	2.22	1.74	2.05	2.46
SO ₂ (g·kg ⁻¹)	0.11	0.09	0.10	0.12
Celkové spaliny (Nm ³ ·kg ⁻¹)	7.41	6.99	7.53	7.72



Graf 3. Celkový objem spalin (Nm³·kg⁻¹)

Výsledky ukazují, že:

Merlot → nejnižší emise (nejlepší environmentální profil),

Ryzlink → nejvyšší výhřevnost, střední emise,

Zweigeltrebe → nejvyšší celková emisní zátěž,

Chardonnay → nízká výhřevnost, střední emise.

DISKUSE

Výsledky této studie prokazují významné rozdíly mezi sledovanými odrůdami révy vinné v morfologii hroznů, kvalitě biomasy i jejím energetickém a emisním profilu. Tyto rozdíly jsou zásadní nejen z hlediska vinohradnické produkce, ale rovněž pro posouzení vhodnosti daných kultivarů k energetickému využití odpadu z výroby vína.

Vliv odrůdových rozdílů na kvalitu biomasy

Biometrické parametry potvrzují, že jednotlivé kultivary vykazují odlišné proporce hroznů i podíl třapiny. Ryzlink zde výrazně vynikal vysokým počtem bobulí a nejvyšším podílem třapiny (8.99 %), což je v souladu s poznatkem, že tento kultivar tvoří kompaktnější hrozny s robustnější strukturou /21/. Vysoký podíl třapiny zároveň naznačuje vyšší obsah lignocelulózové frakce, která je známá vyšší energetickou hodnotou /22/. Naopak Chardonnay produkovalo menší hrozny s nejnižší hmotností třapin, což může souviset s jeho genetickou predispozicí k tvorbě volnějších hroznů, často popisovanou v literatuře /23/. Tyto morfologické rozdíly jsou klíčové, protože složení hroznů zásadně ovlivňuje parametry paliva i emise vznikající při spalování /24/.

Energetický potenciál matolin a třapin

Nižší výhřevnost (LHV) matolin se v této studii pohybovala v rozmezí 15.98–16.91 MJ·kg⁻¹, což odpovídá hodnotám uváděným pro podobné druhy agrobiomasy /25, 26/. Nejvyšší LHV vykazoval Ryzlink, což je v souladu s jeho vyšším podílem strukturních složek. Podobné výsledky uvádějí i Garcia et al. /22/, kteří popsali vyšší výhřevnost biomasy s vyšším podílem ligninu a celulózy. Zatímco rozdíly mezi odrůdami byly výrazné u matolin, výhřevnost třapin byla relativně stabilní – tento trend se často popisuje i v pracích zaměřených na dřevnaté podíly hroznů /27/. To podporuje hypotézu, že rozdíly mezi kultivary se promítají nejsilněji do měkké frakce hroznů (slupky, dužnina), zatímco dřevnaté části jsou kompozičně více uniformní.

Emisní parametry a environmentální dopady

Rozdíly v emisních faktorech mezi kultivary byly výraznější než rozdíly mezi typy biomasy (třapina vs. matoliny). To je důležitý poznatek, protože mnoho studií předpokládá, že odpadní biomasa z vinařství je mezi odrůdami relativně homogenní /28/. Naše výsledky naznačují opak—odrůda může mít zásadní vliv na složení prvků (C, N, S), a tím i na chování biomasy během spalování. Merlot měl nejnižší celkovou emisi spalin (6.99 Nm³·kg⁻¹), což lze vysvětlit jeho nižším obsahem dusíku a síry. Tyto prvky jsou klíčovými prekurzory tvorby NO_x a SO₂ /29/. Chardonnay a Zweigeltrebe naopak vykazovaly vyšší emisní faktory, což odpovídá i jejich vyšším koncentracím N a S v elementární analýze. Z hlediska klimatického dopadu je významné, že CO₂ produkovaný při spalování biomasy je považován za součást krátkého uhlíkového cyklu, a tedy má nižší čistý dopad na atmosférický uhlík než fosilní zdroje /26/. Přesto je však žádoucí minimalizovat lokální emise NO_x a SO₂, které přispívají ke kyselým depozicím a sekundárním aerosolům /24/.

Potenciál pro cirkulární bioekonomiku

Integrace energetického využití vinařského odpadu je plně v souladu s principy cirkulární ekonomiky a „zero waste“ strategie popsané v literatuře /23, 28/. Energetické zpracování biomasy může představovat ekonomicky i ekologicky příznivou alternativu k tradičním metodám likvidace odpadu, jako je kompostování nebo skládkování, které jsou spojeny s produkcí metanu či rizikem kontaminace půd /27/.

Vzhledem k rozdílům mezi odrůdami je možné navrhovat diferencované modely využití:
Ryzlink – nejvyšší energetická hodnota, vhodný pro energetické systémy s vysokou účinností.
Merlot – nejnižší emise, vhodný pro provozy se zpřísněnými emisními limity.

Zweigeltrebe – vyšší emisní zátěž, ale stabilní výhřevnost; vhodné pro centralizované kotle s účinným čištěním spalin.

Podobné doporučení uvádějí i Battisti et al. /26/, podle nichž by měly být rozdíly mezi jednotlivými zdroji biomasy zohledněny při návrhu regionálních bioenergetických systémů.

Význam výsledků pro chladné vinohradnické oblasti

Většina studií energetického potenciálu hroznů byla provedena v teplejších vinohradnických regionech (Španělsko, Itálie, Francie). Naše data pocházejí z mírného klimatického pásma severní Evropy, kde se biomasa vyznačuje odlišným poměrem frakcí, sušinou a chemickým složením. To podporuje argument, že klimatické podmínky významně ovlivňují kvalitu biomasy /24/. Vzhledem k rostoucí produkci vína ve střední a severní Evropě je proto klíčové získat lokální data pro správné modelování energetických toků a udržitelnou likvidaci odpadu. Tato studie přináší první známé výsledky tohoto typu pro Polsko.

ZÁVĚR

Tato studie představuje komplexní hodnocení morfologie hroznů, energetických parametrů a emisního profilu biomasy vznikající při výrobě vína u čtyř klíčových odrůd révy Chardonnay, Merlot, Ryzlink a Zweigeltrebe. Výsledky potvrzují, že jednotlivé odrůdy vykazují významné rozdíly nejen ve struktuře hroznů a podílu jednotlivých frakcí (bobule, třapina), ale také v jejich chemickém složení, výhřevnosti a chování při spalování. Tyto odlišnosti je nezbytné brát v úvahu při návrhu a optimalizaci systémů pro energetické využití odpadu z vinařské produkce.

Z hlediska energetického potenciálu se jako nejvhodnější ukázala odrůda Ryzlink rýnský, která dosáhla nejvyšší výhřevnosti (LHV) jak u matolin, tak u třapin. To pravděpodobně souvisí s robustnější strukturou hroznů a vyšším podílem lignocelulózových složek. Naopak odrůda Merlot, přestože nedosahovala nejvyšší výhřevnosti, vynikala nejnižšími emisními faktory pro většinu sledovaných plynů, zejména CO₂ a NO_x. Tento aspekt ji činí mimořádně atraktivním pro aplikace, které kladou důraz na minimalizaci lokální environmentální zátěže. Chardonnay a Zweigeltrebe zauímají intermediární pozici, jejich biomasa nabízí střední výhřevnost, avšak vyšší emisní zatížení, což naznačuje, že mohou být vhodné pro využití v energetických zařízeních vybavených účinnými systémy čištění spalin.

Z hlediska širšího kontextu bioenergetiky lze konstatovat, že výsledky této práce podporují rostoucí trend integrace agroindustriální biomasy do regionálních cirkulárních ekonomických modelů. Odpady z výroby vína představují cenný a zatím nedostatečně využitý zdroj energie. V podmínkách střední a severní Evropy, kde se vinařství dynamicky rozvíjí a dochází k nárůstu produkce, lze očekávat paralelní růst množství odpadní biomasy. Přitom dostupné údaje o jejím energetickém potenciálu jsou stále omezené. Tato studie přináší nové poznatky pro severní vinařské oblasti a přispívá k lepšímu pochopení variability biomasy v závislosti na odrůdě i místních pěstitelských podmínkách.

Závěrem lze říci, že odpady z výroby vína představují perspektivní a environmentálně příznivý zdroj bioenergie. Jejich efektivní využití však vyžaduje odrůdově specifický přístup. Pro praxi to znamená, že vinařské podniky mohou využít typické vlastnosti jednotlivých kultivarů při rozhodování, zda bude biomasa energeticky využita přímo na místě, předána do regionálních bioenergetických center nebo podrobena dalšímu zpracování. Kombinace výnosových, energetických a emisních parametrů může sloužit jako klíčové rozhodovací kritérium. V budoucích výzkumech by bylo vhodné rozšířit analýzy o více ročníků, další kultivary a různé systémy pěstování, stejně jako o experimentální spalování v různých typech kotlů. Rovněž by bylo přínosné doplnit dopad předúpravy biomasy (sušení, peletování) na její výhřevnost a emise. Tyto kroky umožní dále zpřesnit nástroje pro efektivní využití vinohradnické biomasy a posílit roli vinařského sektoru jako významného aktéra v rámci udržitelné bioekonomiky.

LITERATURA

- /1/ International Energy Agency (IEA). Available online: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis> (accessed on 21 August 2024).
- /2/ Sazali, N. Emerging Technologies by Hydrogen: A Review. *Int. J. Hydrogen Energy* 2020, 45, 18753–18771.
- /3/ Tho Pesch, G.; Einarsson, A.K.; Dillman, K.J.; Heinonen, J. Energy Consumption and Human Well-Being: A Systematic Review. *Energies* 2023, 16, 6494.

- /4/ Næss, J.S.; Cavalett, O.; Cherubini, F. The Land–Energy–Water Nexus of Global Bioenergy Potentials from Abandoned Cropland. *Nat. Sustain.* 2021, 4, 525–536.
- /5/ International Energy Agency (IEA). Available online: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/renewables> (accessed on 21 August 2024).
- /6/ Markandan, K.; Chai, W.S. Perspectives on Nanomaterials and Nanotechnology for Sustainable Bioenergy Generation. *Materials* 2022, 15, 7769.
- /7/ Jablonowski, N.D.; Schrey, S.D. Bioenergy Crops: Current Status and Future Prospects. *Agronomy* 2021, 11, 316.
- /8/ Beuchelt, T.D.; Nassl, M. Applying a Sustainable Development Lens to Global Biomass Potentials. *Sustainability* 2019, 11, 5078.
- /9/ Roni, M.S.; Lin, Y.; Hartley, D.S.; Thompson, D.N.; Hoover, A.N.; Emerson, R.M. Importance of Incorporating Spatial and Temporal Variability of Biomass Yield and Quality in Bioenergy Supply Chain. *Sci. Rep.* 2023, 13, 6813.
- /10/ Mateo, J.J.; Maicas, S. Valorization of Winery and Oil Mill Wastes by Microbial Technologies. *Food Res. Int.* 2015, 73, 13–25.
- /11/ Maicas, S.; Mateo, J.J. Sustainability of Wine Production. *Sustainability* 2020, 12, 559.
- /12/ Christ, K.L.; Burritt, R.L. Critical Environmental Concerns in Wine Production: An Integrative Review. *J. Clean. Prod.* 2013, 53, 232–242.
- /13/ Baiano, A. An Overview on Sustainability in the Wine Production Chain. *Beverages* 2021, 7, 15.
- /14/ Wiese, A. Biomass Combustion for Electricity Generation. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*; Meyers, R.A., Ed.; Springer: New York, NY, USA, 2012; pp. 1231–1268, ISBN 978-0-387-89469-0
- /15/ Wu, Y.; Zhao, F.; Liu, S.; Wang, L.; Qiu, L.; Alexandrov, G.; Jothiprakash, V. Bioenergy Production and Environmental Impacts. *Geosci. Lett.* 2018, 5, 14.
- /16/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Borkowska, A.; Maj, G.; Słowik, T. Effect of ‘Regent’ grapevine rootstock type on energy potential parameters. *J. Water Land. Dev.* 2024, 50–56.
- /17/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Maj, G.; Borkowska, A.; Buczynski, K.; Sotolář, R.; Danko, R. Evaluation and Analysis of the Energy Potential of Grapevine Peduncles of PIWI Group Varieties. *Energies* 2024, 17, 6043.
- /18/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Maj, G.; Buczynski, K. Evaluation of green residues management of selected grape varieties. *J. Water Land. Dev.* 2024, 68–75.
- /19/ Kaplan, M.; Maj, G.; Klimek, K.E. The analysis of energy potential in vine leaves of the ‘Regent’ cultivar as bio-waste depending on the year of cultivation and the type of rootstock used. *J. Water Land. Dev.* 2023, 171–177.
- /20/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Maj, G. The evaluation of energy from grapevine shoots used as biomass depending on the cultivar. *J. Water Land. Dev.* 2023, 120–128.
- /21/ Pszczółkowski, P.; & Myśliwiec, R. (2022). Viticulture in cool climates: Yield structure and berry morphology. *Journal of Wine Research*, 33(1), 1–15.
- /22/ Garcia, A.; Pérez, A.; López, F. (2018). Energy potential of vine prunings and grape residues. *Biomass & Bioenergy*, 112, 1–9.
- /23/ Ioannou, L. A.; Fatta-Kassinos, D. (2020). Winery wastewater treatment and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 739, 140–149.
- /24/ Černý, M.; & Urban, O. (2021). Emission formation during combustion of agricultural biomass. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123–131.
- /25/ Balat, M. (2008). Global bio-energy potential. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 3(3), 213–229.
- /26/ Battisti, R.; Frattari, A.; & Schmidt, J. (2020). Biomass valorization in the wine industry: A review. *Renewable Energy*, 145, 1255–1264.
- /27/ Berghofer, E. (2017). Winery waste and sustainability. *Food Technology & Biotechnology*, 55(1), 21–30.
- /28/ Devesa-Rey, R.; Vecino, X.; Varela-Alende, J. L.; Barral, M. T.; Cruz, J. M.; Moldes, A. B. (2011). Valorization of winery waste vs. the costs of not recycling. *Waste Management*, 31(11), 2327–2335.
- /29/ Vávra, A.; Havlík, P.; & Dlouhý, T. (2021). Formation of SO₂ and NO_x during biomass combustion. *Energy Conversion and Management*, 243, 114–131.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

ENERGETICKÝ POTENCIÁL VÝHONŮ RÉVY V ZÁVISLOSTI NA ODRŮDĚ A SYSTÉMU VEDENÍ

ENERGY POTENTIAL OF GRAPE VINE SHOOTS DEPENDING ON VARIETY AND TRAINING SYSTEM

Richard Danko¹, Radek Sotolář¹, Mojmír Baroň¹, Magdalena Kaplan², Kamila E. Klimek³, Grzegorz Maj⁴

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická 337, 691 44 Lednice, ČR, radek.sotolar@mendelu.cz

² Univerzita biologických věd v Lublinu, Institut zahradnické produkce, Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polsko, magdalena.kaplan@up.lublin.pl

³ Univerzita biologických věd v Lublinu, Katedra aplikované matematiky a informatiky, Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polsko, anna.borkowska@up.lublin.pl

⁴ Univerzita biologických věd v Lublinu, Katedra energetiky a dopravy, Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polsko, grzegorz.maj@up.lublin.pl

Summary

The aim of this study was to evaluate the energy potential of woody shoots of grapevine (*Vitis vinifera* L.) depending on the training system, variety, and berry colour. Field experiments were carried out in 2024 in the vineyard of Mendel University in Lednice (Czech Republic) with the varieties Chardonnay, Merlot, Riesling and Zweigelt, trained using the Guyot and Cordon systems. Biomass yield as well as its energy and emission characteristics were monitored. Laboratory analyses at the University of Life Sciences in Lublin determined the heating value and emission characteristics. The results showed that the variety significantly influences biomass parameters: Chardonnay had the highest total shoot mass per plant (773.57 g), while Zweigelt produced the highest number of shoots (8.60 pcs) with the lowest average mass (74.82 g). The Cordon training system generated a higher biomass yield and more favourable combustion properties than the Guyot system. The analysis of berry colour revealed that white varieties produce heavier shoots, while red varieties produce more shoots. Emission analysis showed a significant effect of variety and training system, with the highest CO, CO₂ and NO_x emissions measured in the Zweigelt variety. The results highlight the need for an integrated approach that takes into account genotypic and phenotypic traits and grapevine training systems in order to optimise the use of vineyard biomass as an energy source within a circular economy framework.

Key words: grapevine varieties, biomass, energy potential, training system, exhaust emissions, circular economy

Souhrn

Cílem studie bylo zhodnotit energetický potenciál dřevnatých výhonů révy v závislosti na systému vedení, odrůdě a barvě plodů. Terénní pokusy byly provedeny v roce 2024

v experimentální vinici MENDELU (Česká republika) u odrůd Chardonnay, Merlot, Ryzlink rýnský a Zweigeltrebe, vedených systémy Guyot a Kordón. Byl sledován výnos biomasy + její energetické a emisní vlastnosti. Laboratorní analýzy na Univerzitě životních věd v Lublinu určily výhřevnost a emisní charakteristiky. Výsledky ukázaly, že odrůda významně ovlivňuje parametry biomasy: odrůda Chardonnay měla nejvyšší celkovou hmotnost výhonů (réví) na rostlinu (773,57 g), zatímco Zweigeltrebe produkovala nejvyšší počet výhonů (8,60 ks.) s nejnižší průměrnou hmotností (74,82 g). Kordonový systém vedení generoval vyšší výnos biomasy a příznivější spalovací vlastnosti než Guyot. Analýza barvy plodů ukázala, že bílé odrůdy produkují hmotnější výhony, zatímco modré odrůdy více výhonů. Analýza emisí ukázala významný vliv odrůdy a systému vedení, přičemž nejvyšší emise CO, CO₂ a NO_x byly naměřeny u odrůdy Zweigeltrebe. Výsledky zdůrazňují potřebu integrovaného přístupu, zohledňujícího genotypové a fenotypové charakteristiky a systémy vedení révy pro optimalizaci využití vinohradnické biomasy jako zdroje energie v rámci cirkulární ekonomiky.

Klíčová slova: odrůdy révy, biomasa, energetický potenciál, vedení révy, emise; cirkulární ekonomika

ÚVOD

Rostoucí globální poptávka po energii, společně s postupným úbytkem fosilních paliv a s narůstajícími environmentálními dopady jejich spalování, vede k intenzivnímu hledání udržitelných a lokálně dostupných zdrojů energie. Biomasa představuje jeden z klíčových pilířů moderní obnovitelné energetiky a má zásadní roli v transformaci energetických systémů směrem k cirkulární ekonomice. Zemědělské oblasti produkují každoročně značné množství organických zbytků, které jsou často neefektivně využívány nebo zůstávají bez dalšího energetického zhodnocení. Tyto materiály však představují stabilní a relativně snadno dostupný zdroj lignocelulózní biomasy, jejíž energetický potenciál může významně přispět k diverzifikaci zdrojů energie a snížení uhlíkové stopy /1, 2, 3/.

Vinohradnictví je jedním z největších producentů zemědělské biomasy v mírném klimatickém pásu. Každoroční zimní řez vytváří velký objem dřevnatých výhonů, které jsou tradičně považovány za odpad a nejčastěji mulčovány v meziřadí nebo spalovány přímo ve vinicích. V poslední dekádě se však zvyšuje zájem o jejich energetické a materiálové využití, neboť výhony révy mají příznivé fyzikální vlastnosti, vysoký podíl ligninu a srovnatelnou výhřevnost s jinými zdroji biomasy používanými v bioenergetice /4, 5/. Efektivní zužitkování těchto zbytků může významně přispět ke snížení odpadů ve vinařství, zvýšení energetické soběstačnosti a ke snížení emisí skleníkových plynů v sektoru zemědělství. Množství a kvalita biomasy produkované při zimním řezu jsou ovlivněny celou řadou biologických a agrotechnických faktorů. Jedním z nejvýznamnějších je odrůda révy, která určuje růstový habitus, intenzitu lignifikace, morfologii pletiv i hustotu dřeva. Studie ukazují, že bílé odrůdy obvykle produkují větší a těžší výhony, zatímco modré odrůdy často vytvářejí větší počet tenších výhonů /6, 7, 8/. Tyto rozdíly mohou následně ovlivnit jejich spalovací chování, výhřevnost i výsledné emise. Neméně významným faktorem je systém vedení révy, který přímo určuje architekturu keře, počet ponechávaných oček a distribuci vegetativního růstu. Nejčastěji využívané systémy Guyot a Kordón se liší v intenzitě řezu i v množství trvale neseného dřeva. Systematické rozdíly v morfologii výhonů mezi těmito systémy mohou ovlivňovat nejen

celkový výnos biomasy, ale také její fyzikální vlastnosti a energetickou hodnotu /9/. Systém vedení tak může být významným nástrojem pro řízenou produkci biomasy, pokud je energie z vinohradnických zbytků jedním z cílů vinařského podniku.

Vedle kvantitativních ukazatelů má pro energetické využití zásadní význam také kvalita biomasy, zejména výhřevnost (HHV, LHV) a emisní profil vznikající při spalování. Obsah uhlíku, vodíku, dusíku a dalších prvků se mezi odrůdami a typy výhonků může významně lišit, což ovlivňuje jak energetický výstup, tak produkci emisí CO, CO₂ a NO_x /9/. Tyto parametry jsou klíčové při hodnocení ekologické udržitelnosti energetických procesů, zejména s ohledem na legislativní požadavky EU, jako je Směrnice o obnovitelné energii (RED II), a na cíle snižování emisí skleníkových plynů /4, 10/. Navzdory rostoucímu zájmu o bioenergetické využití vinohradnických zbytků však stále existuje relativně málo studií, které systematicky hodnotí interakci odrůdy, systému vedení a fenotypových parametrů ve vztahu k energetickému potenciálu biomasy révy. Komplexní porovnání těchto faktorů je nezbytné pro efektivní implementaci principů cirkulární ekonomiky ve vinařských regionech a pro tvorbu doporučení zaměřených na maximalizaci energetického výnosu při současném minimalizování environmentálních dopadů.

Cílem této práce proto bylo komplexně vyhodnotit energetický potenciál dřevnatých výhonů révy v závislosti na odrůdě, systému vedení a barvě plodů. Studie kombinuje terénní měření biomasy, laboratorní stanovení výhřevnosti a prvkové složení a analýzu emisí s cílem identifikovat klíčové determinanty efektivního využití vinohradnické biomasy jako obnovitelného zdroje energie. Získané výsledky mohou přispět nejen k optimalizaci energetického využití zbytků z vinohradů, ale také k vytváření udržitelných agrotechnických strategií v moderním vinařství.

MATERIÁL A METODY

Lokalita a experimentální uspořádání

Terénní experiment byl proveden v roce 2024 v experimentální vinici Mendelovy univerzity v Lednici (48°47' N, 16°48' E), nacházejícím se v mírném klimatickém pásmu s průměrnou roční teplotou 9,5 °C a srážkovým úhrnem 520–550 mm za rok. Lokalita je charakteristická hlinitopísčitými půdami typu černozemě, které poskytují vhodné podmínky pro pěstování révy vinné. Do experimentu byly zařazeny čtyři odrůdy révy vinné: Chardonnay, Merlot, Ryzlink rýnský a Zweigeltrebe, reprezentující rozdílné růstové charakteristiky a barvu plodů. Odrůdy byly pěstovány ve dvou běžně využívaných systémech vedení: **jednoduchý Guyot** (s řezem na tažen a čípek) a **jednostranný Kordón (s řezem na čípky)**, které se liší architekturou keře, počtem trvalých ramen i mírou řezného zásahu.

Každá odrůda byla zastoupena pěti opakováními, přičemž jedno opakování tvořilo pět keřů (celkem 100 keřů). Veškeré keře byly ošetřovány standardními vinohradnickými postupy v souladu s doporučenými zásadami integrované produkce.

Sběr biomasy a měření morfologických parametrů

Dřevnaté výhony byly sbírány během zimního řezu (leden–únor 2024), který probíhal u všech variant za srovnatelných podmínek. U každého keře byl zaznamenán:

- celkový počet odstraněných výhonů (ks),
- hmotnost jednotlivých výhonů (g),
- celková hmotnost biomasy odstraněné z keře (g).

Výhony byly po řezu ručně svazkovány, označeny a ihned zváženy na laboratorních vahách s přesností 0,1 g. Morfologické parametry výhonů byly vyhodnoceny podle metodik používaných v předchozích studiích zabývajících se strukturou a lignifikací révy /14,15/.

Úprava vzorků a laboratorní analýzy

Veškerá biomasa byla nejprve sušena při 20 °C po dobu 14 dnů v klimatizované místnosti s kontrolovanou relativní vlhkostí (45–50 %). Suchý materiál byl následně mechanicky drcen na frakci **0,5 mm** v souladu s normou EN ISO 14780 pro přípravu tuhých biopaliv. Úprava a získání výsledných dat probíhalo dle metodiky Klimek a kol. 2024 /6, 11, 12, 13/.

Stanovení výhřevnosti

Výhřevnost biomasy byla měřena jako: **vyšší výhřevnost (HHV)** a **nižší výhřevnost (LHV)**, pomocí isoperibolického kalorimetru LECO AC600 (LECO Corp., USA). Postup vycházel z normy **EN ISO 1928:2020** /11/. Výsledky byly počítány jako průměr tří po sobě opakovaných měření pro každý vzorek.

Elementární analýza a výpočet emisních faktorů

Pro stanovení obsahu uhlíku (C), vodíku (H), dusíku (N) a kyslíku (O) byla využita elementární analýza podle normy **EN ISO 16948:2015** /13/, provedená na přístroji CHN 628 (LECO Corp., USA). Získané hodnoty sloužily k výpočtu emisí **CO**, **CO₂** a **NO_x** modelovými výpočetními postupy používanými v energetice biomasy podle Kaplan a kol. /15/ a Demirbaş /16/.

Statistická analýza

Všechna data byla analyzována v programu **R 4.3.2** (R Core Team, 2023). Pro testování vlivu odrůdy, systému vedení a jejich interakce na sledované parametry byla použita dvoufaktorová analýza rozptylu (**ANOVA**). Statisticky významné rozdíly mezi průměry byly vyhodnoceny pomocí **Tukey HSD testu** při hladině významnosti $p < 0,05$. K vizualizaci vztahů mezi odrůdami, systémem vedení a energetickými a morfologickými parametry byla provedena **analýza hlavních komponent**.

VÝSLEDKY

Morfologické parametry biomasy

Tabulka 1. Morfologické parametry výhonků podle odrůdy a systému vedení

Odrůda	Systém vedení	Počet výhonů (ks)	Hmotnost jednoho výhonu (g)	Celková hmotnost na rostlinu (g)
Chardonnay	Guyot	6,2	110,5	686,1
Chardonnay	Cordon	6,0	128,9	773,6
Merlot	Guyot	7,5	88,2	661,5
Merlot	Cordon	7,2	92,3	664,6
Ryzlink	Guyot	6,8	102,0	693,6
Ryzlink	Cordon	6,5	105,5	685,8
Zweigelt	Guyot	8,6	74,8	643,3
Zweigelt	Cordon	8,2	78,1	640,4



Graf 2. Počet výhonků podle odrůdy



Graf 1. Průměrná hmotnost výhonků podle odrůdy

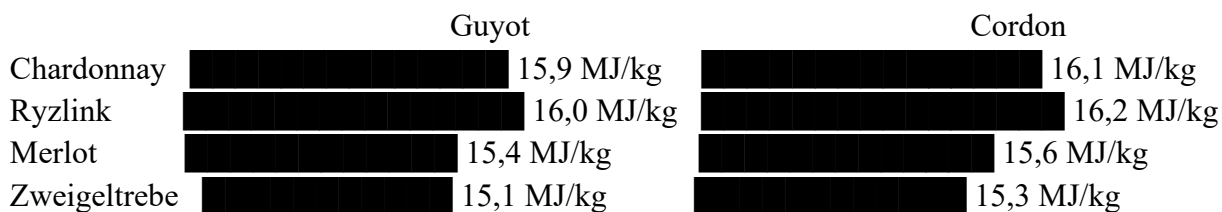
Odrůdy se výrazně lišily v růstových parametrech. Odrůda **Chardonnay** vykazovala nejvyšší celkovou hmotnost výhonů (773,6 g v systému Kordon), zatímco **Zweigeltrebe** tvořila nejvíce výhonů (8,6 ks), ale s nejnižší průměrnou hmotností (74,8 g). Tyto výsledky odrážejí rozdílný růstový habitus: bílé odrůdy tvoří obvykle méně, ale robustnější výhony; modré odrůdy obvykle více výhonů ale tenčí.

Kordonový systém vedení zvyšoval hmotnost výhonů u všech odrůd (o 2–13 %), což souvisí s vyšším stupněm lignifikace na trvalém rameni a stabilnější distribucí pupenů.

Energetické vlastnosti biomasy

Tabulka 2. Energetické vlastnosti a emise biomasy podle odrůdy a systému vedení

Odrůda	Systém vedení	LHV (MJ/kg)	CO (kg/kg)	CO ₂ (kg/kg)	NO _x (kg/kg)
Chardonnay	Guyot	15,9	0,045	1,22	0,012
Chardonnay	Cordon	16,1	0,043	1,18	0,011
Merlot	Guyot	15,4	0,048	1,28	0,014
Merlot	Cordon	15,6	0,046	1,25	0,013
Ryzlink	Guyot	16,0	0,044	1,20	0,011
Ryzlink	Cordon	16,2	0,042	1,17	0,010
Zweigelt	Guyot	15,1	0,050	1,35	0,015
Zweigelt	Cordon	15,3	0,048	1,31	0,014



Graf 3. Nižší výhřevnost (LHV) podle odrůdy a systému vedení

Energetické vlastnosti mezi odrůdami vykazovaly významné rozdíly. Bílé odrůdy **Ryzlink a Chardonnay** dosáhly nejvyšší LHV (až 16,2 MJ/kg), což souvisí s vyšším obsahem ligninu a hustší strukturou dřeva. Odrůda **Zweigeltrebe** měla nejnížší LHV (15,1–15,3 MJ/kg), což odpovídá jejím méně hmotným a méně lignifikovaným výhonkům.

U všech odrůd měl kordonový systém pozitivní vliv na výhřevnost (navýšení o 0,1–0,2 MJ/kg). Tento efekt je spojen s rovnoměrnějším vyzráváním dřeva a větší expozicí trvalých ramen slunečnímu záření. **Nejvyšší energetický potenciál** tak vykazuje kombinace **Ryzlink rýnský – Kordon**, následovaná variantou **Chardonnay – Kordon**.

Emisní charakteristiky biomasy

Emisní profily se mezi odrůdami lišily ve všech sledovaných parametrech. Odrůda **Zweigeltrebe** produkovala nejvyšší emise CO, CO₂ a NO_x, což koreluje s nejnížší výhřevností a hůře vyzrálým dřevem. Naproti tomu **Chardonnay a Ryzlink** patřily k nejčistším zdrojům biomasy, s nejnižšími hodnotami emisí všech znečišťujících látek.

Systém vedení opět hrál roli: **Kordon snižoval emise NO_x a CO₂ o 1–3 %** ve srovnání s Guyotem. Tyto rozdíly, byť malé, jsou z pohledu udržitelné bioenergetiky významné, protože mohou kumulativně snížit uhlíkovou stopu vinohradnických podniků.

Odrůda	Systém vedení	CO (kg/Mg)	CO ₂ (kg/Mg)	NO _x (kg/Mg)
Chardonnay	Guyot	1,32	7,45	0,15
Chardonnay	Cordon	1,30	7,38	0,14
Merlot	Guyot	1,45	7,80	0,17
Merlot	Cordon	1,42	7,72	0,16
Ryzlink	Guyot	1,38	7,60	0,16
Ryzlink	Cordon	1,36	7,55	0,15
Zweigelt	Guyot	1,55	8,05	0,18
Zweigelt	Cordon	1,53	7,98	0,17

Tabulka 3. Emise CO, CO₂ a NO_x podle odrůdy a systému vedení

Shrnutí hlavních trendů

- **Nejvíce biomasy:** Chardonnay – Cordon
- **Nejvyšší LHV:** Ryzlink – Cordon
- **Nejnižší emise:** Chardonnay – Cordon
- **Nejslabší energetické parametry:** Zweigelt – Guyot
- **Cordon > Guyot** (biomasa, výhřevnost, emise)

DISKUSE

Výsledky studie jednoznačně ukázaly, že jak **odrůda**, tak **systém vedení** mají významný vliv na produkci biomasy, výhřevnost dřevnatých výhonů a související emisní parametry. Tyto poznatky jsou v souladu s předchozími studiemi, které konstatují, že morfologie vegetativních orgánů révy je silně geneticky determinovaná a ovlivňována způsobem řezu a architekturou keře /2, 8, 17, 18/.

Ve shodě s literaturou se i v této studii ukázalo, že odrůdy se výrazně liší ve struktuře a dynamice růstu. **Chardonnay a Ryzlink**, tedy bílé odrůdy s obecně vyšším stupněm lignifikace letorostů, vykázaly nejvyšší hmotnost výhonů a zároveň nejvyšší výhřevnost. Podobné závěry uvádí i práce Ferrer-Gallego a kol. /19/, kde byly bílé odrůdy charakterizovány vyšším podílem ligninu a hustší strukturou dřeva než odrůdy modré. Naopak odrůda **Zweigeltrebe**, která tvoří více výhonů s menším průměrem, měla nejen nejnížší průměrnou hmotnost výhonu, ale též nejnížší hodnoty LHV. Tento výsledek je konzistentní s poznatky Stařika a kol. /20/, podle kterých nižší hustota dřeva vede k nižší energetické hodnotě biomasy. Vyšší počet, ale nižší hmotnost výhonů může také indikovat rychlejší růst méně lignifikovaných pletiv, což se negativně odráží na kvalitě biomasy při spalování. Dá se říci, že odrůdy Chardonnay a Ryzlink, produkovaly těžší réví, zatímco modré odrůdy Merlot a Zweigeltrebe produkovaly větší počet, avšak lehčích výhonů. Tento rozdíl je pravděpodobně důsledkem rozdílů v morfologii plodů a vegetativních orgánů, které jsou u bílých odrůd kompenzovány menším počtem, ale vyšší hmotností jednotlivých výhonů /5, 15/. Energetické rozdíly mezi odrůdami tak nejsou náhodné, ale přímo vyplývají z dlouhodobě známých fenotypových charakteristik a růstových strategií jednotlivých kultivarů /21/.

Výsledky rovněž prokázaly, že kordonové vedení je oproti systému **Guyot** výhodnější z hlediska: vyšší hmotnosti dřeva, vyšší výhřevnosti a nižších emisních parametrů. Tento efekt je pravděpodobně spojen s trvalou strukturou kordonového ramene, který vede k vyšší stabilitě růstu a lepší lignifikaci výhonů díky rovnoměrnějšímu rozložení pupenů a lepší expozici slunečnímu záření /22/. Podobné závěry prezentují i Keller /17/ a Intrieri a kol. /23/, kteří uvádějí, že keře vedené na trvalém rameni vykazují dlouhodobě vyzrálější dřevo a vyšší hustotu pletiv. Vyšší výhřevnost biomasy v systému Kordon (navýšení o 0,1–0,2 MJ/kg) odpovídá i poznatkům z oblasti lesní biomasy, kde je vyšší stupeň lignifikace přímo spojen s vyšší energetickou hodnotou /24/. Z hlediska energetického využití je tak Kordonový systém výhodnější, protože poskytuje větší množství paliva s vyšší energetickou hodnotou vs. klasický Guyot.

Výsledky emisní analýzy ukazují, že emise CO, CO₂ a NO_x úzce souvisejí s kvalitou a hustotou biomasy. Odrůda **Zweigeltrebe** produkovala nejvyšší emise, což je v souladu s jeho nejnížší výhřevností a nejnížší hustotou dřeva. Méně lignifikované dřevo totiž hoří rychleji a s nižší účinností, což vede k vyšším emisím CO a NO_x, jak uvádějí Carballo-Pacheco & Rabaçal /25/. Naopak odrůdy **Chardonnay a Ryzlink**, které vykazovaly nejvyšší LHV, měly zároveň nejnížší hodnoty emisí. Tento výsledek potvrzuje známou korelaci mezi vyšším obsahem uhlíku a ligninu a nižšími emisemi nežádoucích plynů při spalování biomasy, např. dle Obernberger & Thek /26/. **Kordonový systém vedení** pak snižoval emise o 1–3 %, což lze připsat vyššímu stupni vyzrávání dřeva a nižšímu obsahu prchavých látek. Tento vztah byl popsán i ve studii Lindauer a kol. /27/, která uvádí, že biomasa s vyšší hustotou pletiv vykazuje stabilnější spalovací režim i nižší emise NO_x. Výhřevnost 15–16 MJ/kg potvrzuje, že dřevnaté výhony jsou vhodným zdrojem biomasy. Emise CO, CO₂ a NO_x u odrůd jako Zweigeltrebe ukazují potřebu optimalizace spalování. Integrovaný přístup kombinuje genetiku a agrotechniku pro maximální výtěžnost a snížení emisí.

Výsledky této práce mají významné implikace pro praxi. Vzniká zde potenciál pro:

- **optimalizaci výnosu biomasy** na základě odrůdy a systému vedení,
- **cílené energetické využití výhonků** s ohledem na jejich LHV a emise,

- **snížení uhlíkové stopy** vinohradnictví recyklací biomasy v rámci cirkulární ekonomiky.

Se stále rostoucí poptávkou po lokálních zdrojích biomasy v EU (RED II-2018) /10/ mohou vinohradnické zbytky představovat stabilní a ekologicky výhodný zdroj energie. Vzhledem k velkému množství biomasy produkované při každoročním řezu jde o zdroj, který má potenciál významně přispět ke snížení odpadu i emisí v zemědělství. Výsledky podporují **principy cirkulární ekonomiky**, kdy zbytky z vinohradů mohou sloužit jako obnovitelný zdroj energie. Manažeři vinohradů mohou upravit systémy řezu, volbu odrůd a způsob využití biomasy pro optimalizaci energetického výstupu a snížení ekologického dopadu /3/.

ZÁVĚR

Tato studie potvrdila, že energetický potenciál dřevnatých výhonů révy vinné je komplexně ovlivněn kombinací **genetických faktorů (odrůda)** a **agrotechnických postupů (systém vedení)**. Výsledky jasně ukázaly, že bílé odrůdy, zejména *Chardonnay* a *Ryzlink*, produkují výhony s vyšší průměrnou hmotností a vyšší výhřevností, zatímco modré odrůdy (*Merlot*, *Zweigeltrebe*) tvoří více, avšak lehčích výhonů s nižší energetickou hodnotou. Tyto rozdíly se následně promítají do emisního profilu biomasy při spalování, kde právě odrůdy s lehčími výhony vykazovaly vyšší emise CO, CO₂ a NO_x.

Z hlediska agrotechniky se ukázalo, že Kordonový systém vedení je efektivnější než systém **Guyot (tažení/čípek)**, a to jak ve výnosu biomasy, tak v kvalitě dřevnatých výhonků. Kordon poskytuje výhony s vyšší výhřevností, nižšími emisemi a celkově větším množstvím energeticky využitelného materiálu. Tyto poznatky potvrzují, že volba vhodného systému vedení může významně přispět nejen k produkci hroznů, ale i k optimalizaci produkce vedlejší biomasy v rámci udržitelného vinohradnictví.

Z širší perspektivy studie ukazuje, že dřevnaté výhony představují stabilní a významný zdroj obnovitelné energie, jehož efektivní využití může přispět k naplnění principů **cirkulární ekonomiky**, snížení uhlíkové stopy vinohradnictví a zvýšení energetické soběstačnosti regionů. Pro praxi to znamená, že vinohradnické podniky mohou zlepšit své environmentální i ekonomické ukazatele prostřednictvím cíleného řízení biomasy – vhodným výběrem odrůd, systémů vedení a plánováním energetického využití ostříhaného réví.

Hlavní závěry studie

- **Bílé odrůdy** (Chardonnay, Ryzlink) poskytují energeticky hodnotnější dřevnaté výhony než modré odrůdy. **Modré odrůdy** produkují více výhonů, ale lehčích a s nižší výhřevností.
- **Kordonový systém vedení** generuje vyšší výnos biomasy a příznivější energetické i emisní parametry než systém Guyot.
- **Emisní profil biomasy** výrazně koreluje s hustotou a lignifikací dřeva; nejvyšší emise byly zaznamenány u odrůdy Zweigeltrebe.
- **Integrovaný přístup** – kombinující volbu odrůdy, systém vedení a analýzu kvality biomasy – je klíčový pro optimalizaci energetického využití réví, jako vinohradnického odpadu.

Celkově studie potvrzuje, že dřevnaté výhony představují významný a perspektivní obnovitelný zdroj energie. Zohlednění genetických, fenotypových a technologických faktorů při jejich využití umožňuje dosáhnout vysoké efektivity a minimalizovat environmentální dopady, čímž přispívá k udržitelnému rozvoji vinařství a energetiky.

LITERATURA

- /1/ International Energy Agency (IEA). (2024): Available online: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis> (accessed on 21 August 2024).
- /2/ Demirbas, A. (2001): *Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals*. Energy Convers. Manage. 2001, 42, 1357–1378.
- /3/ European Commission (2020): *Circular Economy Action Plan*. Brussels: European Commission; 2020.
- /4/ FAO (2019): *Sustainable Viticulture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2019.
- /5/ Burg, P.; Mašán, V.; Dušek, M.; Zemánek, P.; Rutkowski, K. (2017): Review of Energy Potential of the Wood Biomass of Orchards and Vineyards in the Czech Republic. *Res. Agr. Eng.* 2017, 63(Special Issue), S1–S7.
- /6/ Kaplan, M.; Maj, G.; Klimek, K.E.; Buczynski, K.; Borkowska, A.; Sotolář, R.; Danko, R.; Baroň, M. (2025): Characterization of Post-Production Waste from Winemaking of Selected *Vitis vinifera* L. Varieties Grown in Temperate Climates and Their Energy Valorization. *Energies*, 18(3), 663.
- /7/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Maj, G.; Borkowska, A.; Buczynski, K.; Sotolář, R.; Danko, R. (2024): Evaluation and Analysis of the Energy Potential of Grapevine Peduncles of PIWI Group Varieties. *Energies*, 17(23), 6043.
- /8/ Manzone, M.; Paravidino, E.; Bonifacino, G.; Balsari, P. (2016): Biomass Availability and Quality Produced by Vineyard Management During a Period of 15 Years. *Renewable Energy*, 99, 465–471.
- /9/ Smart, R.; Robinson, M. (1991): *Sunlight into Wine*. Adelaide: Winetitles; 1991.
- /10/ EU (2018). *Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (RED II)*. Official Journal of the European Union, L 328, 82–209.
- /11/ ISO (2020): *EN ISO 1928:2020 – Solid biofuels – Determination of gross calorific value*. Geneva: International Organization for Standardization; 2020.
- /12/ ISO (2022): *EN ISO 18122:2022 – Solid biofuels – Determination of volatile matter content*. Geneva: International Organization for Standardization; 2022.
- /13/ ISO (2015): *EN ISO 16948:2015 – Solid biofuels – Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen*. Geneva: International Organization for Standardization; 2015.
- /14/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Borkowska, A.; Maj, G.; Słowik, T. Effect of ‘Regent’ grapevine rootstock type on energy potential parameters. *J. Water Land. Dev.* 2024, 50–56.
- /15/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Maj, G. The evaluation of energy from grapevine shoots used as biomass depending on the cultivar. *J. Water Land. Dev.* 2023, 120–128.
- /16/ Demirbaş, A. (2001). *Relationship between lignin content and calorific value of biomass*. Energy Sources, 23, 883–891.
- /17/ Keller, M. (2015): *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*. Academic Press; 2015.
- /18/ Hunter, J., & Volschenk, H. (2017): *Vine morphology and viticultural practices*. *J. Vitic. Res.*, 59, 123–134.
- /19/ Ferrer-Gallego, R. et al. (2020): *White vs. red grape varieties: lignin content and wood density*. *J. Appl. Bot.*, 94, 145–156.
- /20/ Stařík, J. et al. (2019): *Wood density and energy content of vine shoots*. *Biomass Bioenergy*, 125, 105–113.
- /21/ Poni, S., et al. (2006): *Phenotypic traits and growth strategies of grapevine cultivars*. *Vitis*, 45, 85–90.
- /22/ Klimek, K.E.; Kaplan, M.; Maj, G.; Buczynski, K. (2024): Evaluation of green residues management of selected grape varieties. *J. Water Land. Dev.*, 68–75.
- /23/ Intrieri, C. et al. (2011): *Permanent cordon training and wood maturation in grapevines*. *Vitis*, 50, 121–128.
- /24/ Demirbaş, A. (2001): *Relationship between lignin content and calorific value of biomass*. Energy Sources, 23, 883–891.
- /25/ Carballo-Pacheco, M., & Rabaçal, M. (2014): *Influence of wood density on combustion emissions*. *Biomass Bioenergy*, 63, 23–31.
- /26/ Obernberger, I., & Thek, G. (2010): *Combustion characteristics of biomass fuels*. *Biomass Bioenergy*, 34, 14–28.
- /27/ Lindauer, M. et al. (2019): *Effect of tissue density on biomass combustion and emissions*. *Renew. Energy*, 132, 1121–1130.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

VLIV PODNOŽÍ A ZÁVLAHY NA UVOLOGICKÉ A VÝNOSOVÉ CHARAKTERISTIKY ODRŮDY HIBERNAL

EFFECT OF ROOTSTOCKS AND IRRIGATION ON UVOLOGICAL AND YIELD CHARACTERISTICS OF THE HIBERNAL CULTIVAR

Radek Sotolář, Tereza Holcmannová, Richard Danko

Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická
337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

Summary

The aim of this study was to evaluate the effect of different rootstocks and water regimes on vine balance, oenological parameters, and yield characteristics of the PIWI cultivar Hibernál. Field experiments were conducted over two consecutive growing seasons (2022–2023) in the experimental vineyard of the Faculty of Horticulture, Mendel University in Lednice. Parameters of yield, cluster and berry characteristics, vegetative growth, and vine balance indicators, particularly the fertility coefficient and Ravaz index, were assessed. Results showed a significant effect of rootstock on yield, berry size, and vegetative growth. Rootstocks 125AA and Amos exhibited higher yield potential and a favorable balance between vegetative and generative growth, whereas rootstock T5C achieved lower yields but better vine balance. The study confirms the importance of selecting appropriate rootstocks as an adaptive strategy under ongoing global climate change.

Keywords: PIWI, Hibernál, rootstock, vine balance, Ravaz index, fertility coefficient, climate change

Souhrn

Cílem práce bylo posoudit vliv různých podnoží a vodního režimu na rovnováhu révy, uvologické parametry a výnosové charakteristiky u PIWI odrůdy *Hibernál*. Polní pokus byl realizován ve dvou po sobě jdoucích vegetačních obdobích (2022–2023) v experimentální vinici Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Lednici. Hodnoceny byly parametry výnosu, hroznů, bobule, vegetativního růstu a ukazatele rovnováhy révy, zejména koeficient plodnosti a Ravazův index. Výsledky ukázaly významný vliv použité podnože na výnos, velikost hroznů i vegetativní růst. Podnože 125AA a Amos vykazovaly vyšší výnosový potenciál a příznivý poměr mezi vegetativním a generativním růstem, zatímco podnož T5C dosahovala nižších výnosů, ale lepší rovnováhy révy. Studie potvrzuje význam volby vhodné podnože jako adaptačního nástroje v podmínkách probíhajících globálních změn klimatu.

Klíčová slova: PIWI, Hibernál, podnož, vitalita & vyrovnanost růstu, Ravazův index, koeficient plodnosti, změna klimatu

ÚVOD

V posledních desetiletích dochází v Evropě k výrazným změnám klimatických podmínek, které se významně projevují také ve vinohradnické výrobě. Jedním z nejzávažnějších projevů

těchto změn je nárůst frekvence a intenzity suchých epizod během vegetačního období, často doprovázený nerovnoměrným rozložením srážek a výskytem extrémních teplot /1, 2/. Tyto faktory mají zásadní vliv na vodní režim révy vinné, její vegetativní růst, výnos i kvalitu hroznů. Sucho v průběhu vegetace omezuje příjem vody a živin kořenovým systémem, což může vést ke snížení růstové vitality keřů, redukci listové plochy a omezení fotosyntetické aktivity /3/. Zároveň však mírný vodní stres může u některých odrůd pozitivně ovlivnit rovnováhu mezi vegetativním a generativním růstem a přispět ke zlepšení kvality hroznů /4/. Klíčovým problémem současného vinohradnictví proto není pouze nedostatek vody jako takový, ale především schopnost vinohradnických systémů adaptovat se na proměnlivé a často extrémní podmínky během vegetačního období.

Jedním z nejefektivnějších adaptačních nástrojů je volba vhodné podnože. Podnož zásadním způsobem ovlivňuje architekturu kořenového systému, schopnost révy využívat vodu z hlubších půdních horizontů, příjem minerálních látek i celkovou fyziologickou odezvu rostliny na stresové faktory /5/. Rozdíly mezi jednotlivými podnožemi se mohou významně projevit v růstové intenzitě, výnosovém potenciálu i v ukazatelích rovnováhy révy, jako je koeficient plodnosti nebo Ravazův index /6, 7/.

V podmínkách střední Evropy, kde je sucho během vegetace stále častějším jevem, se otázka vhodného výběru podnože dostává do popředí zájmu vinohradnické praxe i výzkumu. Tradičně používané podnože nemusí vždy poskytovat optimální adaptaci na dlouhodobý vodní deficit, a proto je nezbytné systematicky testovat nové či méně rozšířené podnožové odrůdy z hlediska jejich odolnosti vůči suchu a schopnosti udržet vyvážený poměr mezi vegetativním růstem a plodností /8/.

Zvýšený význam testování podnoží souvisí rovněž s rozšiřujícím se pěstováním PIWI odrůd révy vinné, které jsou považovány za jeden z pilířů udržitelného vinohradnictví. Tyto odrůdy se vyznačují vyšší odolností vůči houbovým chorobám, avšak jejich interakce s různými podnožemi a reakce na vodní stres nejsou dosud dostatečně prozkoumány, zejména v podmínkách středoevropských vinohradnických oblastí /9/.

Cílem této práce bylo proto posoudit vliv vybraných podnožových odrůd na uvologické a výnosové charakteristiky PIWI odrůdy *Hibernal* v podmínkách dvou po sobě jdoucích vegetačních období s podnormálními srážkami. Zvláštní pozornost byla věnována hodnocení rovnováhy révy prostřednictvím koeficientu plodnosti a Ravazova indexu jako klíčových ukazatelů adaptability jednotlivých kombinací odrůda–podnož na podmínky probíhající klimatické změny.

MATERIÁL A METODY

Lokalita a experimentální uspořádání

Polní experimenty byly prováděny v letech 2022 a 2023 v experimentální vinici Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Lednici, viniční trať „Na Valtické“ (48.788380 N, 16.796148 E). Průměrná roční teplota lokality činí 9 °C a dlouhodobý roční úhrn srážek 516,6 mm. Obě sledovaná vegetační období byla charakterizována podnormálním množstvím srážek. Půda byla klasifikována jako písčitohlinitá s obsahem jílových částic 20–24 %. Půdní analýza (hloubka 30 cm, duben 2021) vykazovala hodnoty pH 7,5; N_{min} 18,2 mg·kg⁻¹; P 51,7 mg·kg⁻¹; K 266,8 mg·kg⁻¹ a Ca 6687 mg·kg⁻¹. Obsah vápníku je vskutku vysoký (vápenité podloží -

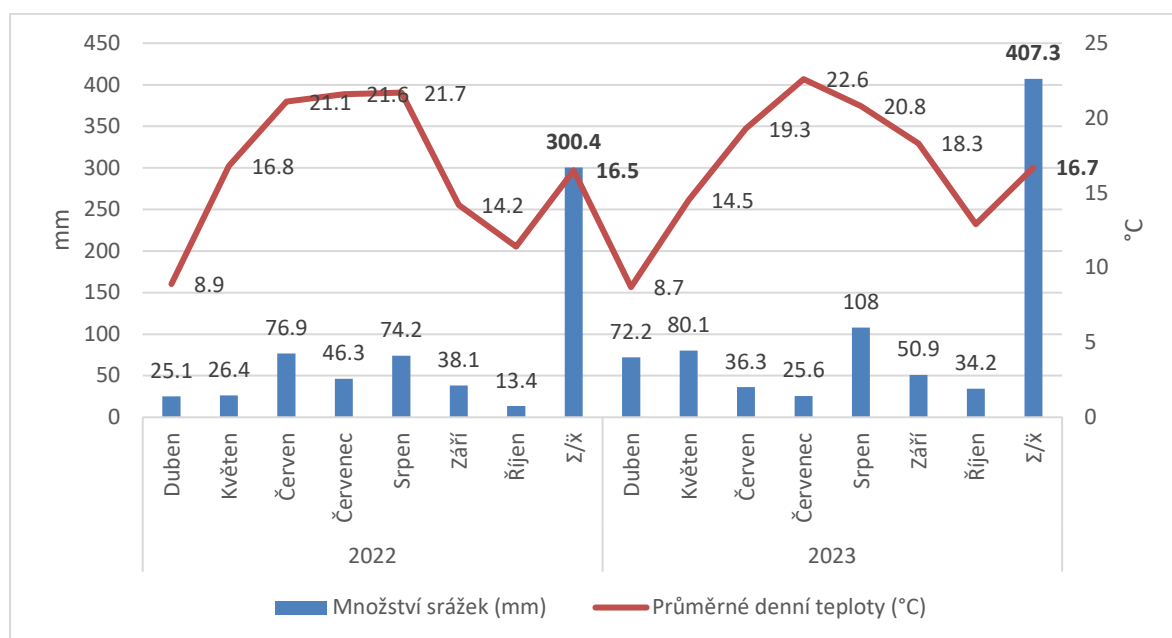
spraš), což spolu s horkým a suchým létem vyvolává a zvyšuje stresové prostředí na révové keři.

Rostlinný materiál

Vybraná PIWI odrůda Hibernal (*Chancellor x Ryzlink rýnský*) je původem německá odrůda s bujnějším růstem a dobrou plodností, se zvýšenou odolností k houbovým chorobám. Výsadba byla uskutečněna v roce 2004 ve sponu 2,20 m × 0,9 m. Vedení je standardní rýnsko-hesenské s horizontálně vyvázanými tažni (jeden kmínek/jedna tažeň). Vedení bylo řešeno rýnsko-hesenským způsobem s vodorovně vyváženými tažni. Ochrana proti chorobám probíhala v systému integrované ochrany. Meziřadí bylo třikrát ročně sečeno nebo mulčováno.

Experimentální varianty

Bylo hodnoceno sedm podnoží: Amos, K1SO4, CR2, Börner, 5BB, 125AA a T5C. Pokus byl založen ve třech opakováních, přičemž každé opakování zahrnovalo 15 keřů. Celkem bylo hodnoceno šest experimentálních variant dle schématu uvedeného v tabulkách a grafickém uspořádání pokusu.



Graf 1: Množství srážek a průměrné denní teploty ve vegetačním období za oba sledované roky

Hodnocené parametry

V průběhu vegetace a při sklizni byly hodnoceny následující ukazatele: průměrný počet hroznů na keři; průměrná hmotnost hroznů na keři; průměrná hmotnost hroznů (určující výnos), bobule a třapiny; průměrný počet bobulí v hrozně; průměrná hmotnost ořezaného réví (pro Ravaz index); průměrný počet výhonů na keři; průměrná šířka výhonu u báze (pro určení bujnosti růstu); koeficient plodnosti a Ravazův index; a konečně skutečný a předpokládaný hektarový výnos.

Použité přístrojové vybavení pro analytická a uvologická měření

Pro analytická data byla využito spektrometru Brucker Alpha II. Pro ověření výsledků byl celkový obsah kyselin v moštu stanoven i klasicky titračně/14/. Pro určení cukernatosti přímo ve vinici byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl

stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity závěsné digitální váhy a laboratorní digitální váhy značky Kern.

Meteorologická data lokality během sledovaných let ve vegetačním období

Množství srážek a průměrné denní teploty ve vegetačním období za oba sledované roky názorně ukazuje graf 1.

VÝSLEDKY

V roce 2022 byla u odrůdy *Hibernal* pozorována výrazná variabilita uvologických a výnosových parametrů v závislosti na použité podnoži (Tabulka 1).

Průměrný počet hroznů na keři se pohyboval od 10,1 ks u podnože CR2 do 19,2 ks u podnože 125AA. Podnože Amos a T5C dosahovaly hodnot kolem 15–16 hroznů na keři. Počet letorostů na keři byl nejvyšší u podnože T5C (10,75 ks), zatímco nejnižší hodnotu vykázala podnož Amos (8,57 ks).

Koeficient plodnosti, který vyjadřuje poměr mezi počtem hroznů a letorosty, dosáhl nejvyšší hodnoty u podnože 125AA (1,97), což naznačuje příznivý poměr mezi vegetativním a generativním růstem. Naopak nejnižší hodnotu měl CR2 (1,06), což odpovídá nižší plodnosti v poměru k vegetativnímu růstu.

Průměrná hmotnost hroznů na keři se pohybovala mezi 2,53 kg (T5C) a 2,99 kg (CR2). Nejvyšší průměrnou hmotnost jednotlivého hroznu vykázala podnož CR2 (284,31 g), zatímco nejnižší byla u T5C (200,29 g). Hmotnost jednotlivých bobulí se pohybovala od 1,66 g (Amos) do 1,95 g (Boerner a 125AA), přičemž počet bobulí v hroznu byl nejvyšší u Amos (228 ks) a nejnižší u T5C (118 ks).

Hmotnost třapiny byla nejvyšší u podnože Amos (18,65 g) a nejnižší u T5C (8,71 g). Průměrná šířka výhonu u báze byla největší u podnoží K1SO4 a 5BB (1,2 cm), zatímco nejmenší u T5C (0,91 cm), což odráží rozdíly v vegetativním růstu.

Ravazův index, ukazatel využitelnosti réví, byl nejvyšší u Amos (6,08) a nejnižší u T5C (4,02). Předpokládaný hektarový výnos se pohyboval mezi 12,52 t/ha (T5C) a 14,8 t/ha (CR2), skutečný výnos byl nejvyšší u podnože 125AA (11,04 t/ha) a nejnižší u T5C (9,46 t/ha). Ztráty na výnosu, které představují rozdíl mezi předpokládaným a skutečným výnosem, byly nejvyšší u Amos (3,86 t/ha) a nejnižší u T5C (3,06 t/ha).

Celkově lze konstatovat, že podnože 125AA a Amos kombinovaly vysoký počet hroznů s příznivou rovnováhou mezi vegetativním a generativním růstem, zatímco T5C vykazovala nižší výnos, ale lepší ukazatele rovnováhy révy, což může být výhodné pro dlouhodobou udržitelnost porostu.

Výsledky analytických rozborů hroznů v roce 2022 prokázaly výrazné rozdíly v chemickém složení moštu v závislosti na použité podnoži. Obsah asimilovatelného dusíku se pohyboval v rozmezí 149–286 mg/l. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u podnoží 5BB a 125AA, následované podnoží CR2, zatímco nejnižší obsah dusíku byl zaznamenán u podnože T5C a Amos.

Cukernatost hroznů byla ve většině variant vysoká. Nejvyšší obsah glukózy a fruktózy byl zjištěn u podnože T5C, následované podnožemi Amos a CR2, zatímco nejnižší cukernatost byla naměřena u K1SO4. Tento trend odpovídal i hodnotám stanoveným refraktometrem a moštoměrem, kdy T5C a CR2 dosahovaly nejvyšších hodnot °Brix a °NM.

Celková kyselost moštu se v roce 2022 pohybovala v rozmezí 7,91–10,28 g/l. Nejvyšší kyselost byla zaznamenána u podnože 125AA, zatímco nejnižší hodnoty vykazovala podnož Boerner. Obsah kyseliny jablečné byl nejvyšší u CR2 a T5C, naopak nejnižší u K1SO4. Kyselina vinná dosahovala nejvyšších hodnot u podnože 125AA a T5C, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u K1SO4. Obsah kyseliny citronové byl u všech variant nízký, přičemž nejvyšší hodnota byla zaznamenána u CR2.

Tabulka 1: Uvologické charakteristiky u odrůdy Hibernál v roce 2022 (průměrné hodnoty)

Uvologické a výnosové charakteristiky	Amos	K1SO4	CR2	Boerner	5BB	125AA	T5C
Průměrný počet hroznů na keři (ks)	15,5	15,3	10,1	14	13,83	19,2	15,8
Prům.pčet letorostů na keři (ks)	8,57	9,88	9,5	9,14	9,78	9,75	10,75
Koeficient plodnosti	1,81	1,55	1,06	1,51	1,41	1,97	1,47
Průměrná hmotnost hroznů na keři (kg)	2,98	2,79	2,99	2,88	2,83	2,96	2,53
Prům.hmotnost ořezaného réví (kg)	0,49	0,6	0,68	0,62	0,64	0,62	0,63
Ravaz index	6,08	4,65	4,4	4,65	4,42	4,77	4,02
Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,84	1,2	1,17	1,1	1,2	1,03	0,91
Průměrná hmotnost hroznu (g)	251,35	241,73	284,31	274,63	235,32	214,71	200,29
Průměrná hmotnost bobule (g)	1,66	1,83	1,92	1,95	1,91	1,95	1,72
Průměrná hmotnost třapiny (g)	18,65	10,91	17,55	14,73	13,28	9,61	8,71
Prům.pčet bobulí v hroznu (ks)	228	155	186	166	152	134	118
Předpokládaný hektarový výnos (t/ha)	14,75	13,81	14,8	14,26	14,01	14,65	12,52
Skutečný výnos (t/ha)	10,89	10,18	10,95	10,74	10,68	11,04	9,46
Ztráty na výnosu (t/ha)	3,86	3,63	3,85	3,52	3,33	3,61	3,06

Tabulka 2: Analytické hodnoty v roce 2022

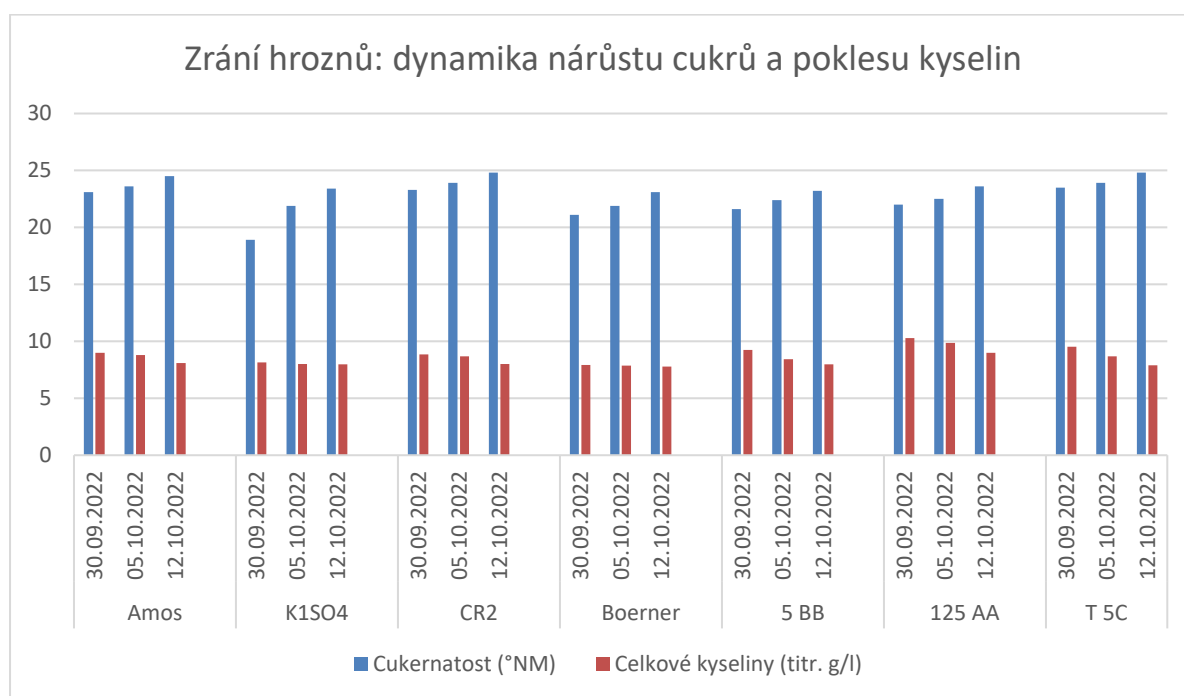
Přístroj	Parametr	Amos	K1SO4	CR2	Boerner	5BB	125AA	T5C
Miura	Asimil. dusík (mg/l)	175	173	263	156	286	272	149
HPLC	Cukernatost (g/l)	234	188	232	214	216	221	237
Refraktom.	Cukernatost (°Bg)	23,6	20,0	23,8	21,9	22,3	22,7	24,0
Moštoměr	Cukernatost (°NM)	23,1	18,9	23,3	21,1	21,6	22,0	23,5
Titračně	Kyseliny (g/l)	9,0	8,15	8,84	7,91	9,24	10,28	9,52
HPLC	Kys. jablečná (g/l)	2,6	1,95	3,09	2,5	2,49	2,55	2,73
HPLC	Kys. vinná (g/l)	8,26	5,11	6,82	7,05	8,28	9,76	8,51
HPLC	Kys. citronová (g/l)	0,15	0,14	0,33	0,17	0,12	0,12	0,13
pHmetr	pH	3,04	2,96	3,35	3,07	2,91	2,85	2,98

Hodnoty pH se pohybovaly mezi 2,85 a 3,35. Nejvyšší pH bylo naměřeno u podnože CR2, zatímco nejnižší hodnoty pH byly zjištěny u podnože 125AA. Celkově lze konstatovat, že v roce 2022 podnože 5BB a 125AA podporovaly vyšší dusíkatou výživu, zatímco T5C a CR2 se vyznačovaly vyšší cukernatostí moštu, což odráží rozdílný průběh zrání hroznů v závislosti na použité podnoži.

V roce 2023 byly u odrůdy *Hibernál* zjištěny podobné trendy jako v předchozím roce, přičemž jednotlivé podnože opět významně ovlivňovaly uvologické a výnosové charakteristiky (Tabulka 3).

Průměrný počet hroznů na keři se pohyboval od 10,1 ks u podnože CR2 do 19,2 ks u podnože 125AA. Podnože Amos a T5C vykazovaly počet hroznů kolem 15–16 ks na keři.

Průměrná hmotnost hroznů na keři byla nejvyšší u CR2 (2,99 kg) a nejnižší u T5C (2,53 kg). Největší průměrnou hmotnost jednotlivého hroznu měly podnože CR2 (284,31 g) a Boerner (274,63 g), zatímco nejnižší hodnoty byly u T5C (200,29 g). Hmotnost jednotlivých bobulí se pohybovala od 1,66 g (Amos) do 1,95 g (Boerner a 125AA), přičemž počet bobulí v hroznu byl nejvyšší u Amos (228 ks) a nejnižší u T5C (118 ks).



Graf 2: Dynamika zrání hroznů v roce 2022

Hmotnost třapiny byla nejvyšší u podnože Amos (18,65 g) a nejnižší u T5C (8,71 g). Hmotnost ořezaného réví se pohybovala mezi 0,49 kg (Amos) a 0,68 kg (CR2), zatímco počet výhonů na keři dosahoval maxima u T5C (10,75 ks) a minima u Amos (8,57 ks). Průměrná šířka výhonu u báze byla největší u K1SO4 a 5BB (1,2 cm) a nejmenší u T5C (0,91 cm).

Koeficient plodnosti byl nejvyšší u 125AA (1,97) a nejnižší u CR2 (1,06). Ravazův index, ukazatel využitelnosti réví, se pohyboval od 4,02 (T5C) do 6,08 (Amos). Předpokládaný hektarový výnos dosahoval maxima 14,8 t/ha u CR2 a minima 12,52 t/ha u T5C.

Celkově lze konstatovat, že i v roce 2023 podnože 125AA a Amos kombinovaly vysoký počet hroznů s příznivou rovnováhou mezi vegetativním a generativním růstem, zatímco T5C vykazovala nižší výnosy, ale lepší ukazatele rovnováhy révy, což podporuje jejich využití jako adaptační nástroj při řízení porostu v podmínkách probíhajících změn klimatu.

Výsledky analytických rozborů hroznů v roce 2023 prokázaly výrazný vliv použité podnože na chemické složení moštu. Obsah asimilovatelného dusíku se pohyboval v rozmezí 188,7–231,25 mg/l, přičemž nejvyšší hodnoty byly zjištěny u podnoží 125AA a T5C, zatímco nejnižší obsah dusíku byl zaznamenán u podnoží Amos a K1SO4.

Cukernatost hroznů vykazovala rozdíly mezi podnožemi jak při stanovení pomocí HPLC, tak i při měření refraktometrem a moštoměrem. Nejvyšší obsah glukózy a fruktózy byl zjištěn

u podnože T5C, následované podnoží Amos, zatímco podnož K1SO4 dosahovala nejnižších hodnot cukernatosti. Tento trend se projevil i v hodnotách °Brix a °NM.

Celková kyselost moštu se v roce 2023 pohybovala od 8,39 do 10,25 g/l. Nejvyšší kyselost byla zaznamenána u podnože 5BB, naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny u podnože T5C. Obsah kyseliny jablečné byl nejvyšší u 5BB a Boerner, zatímco nejnižší u T5C, což naznačuje rychlejší průběh zrání hroznů na této podnoži. Kyselina vinná dosahovala nejvyšších hodnot u podnože CR2, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u Amos. Obsah kyseliny citronové byl u všech variant nízký a vykazoval pouze malé rozdíly.

Tabulka 3: Uvologické charakteristiky u odrůdy Hibernal v roce 2023

	Amos	K1SO4	CR2	Boerner	5BB	125AA	T5C
Průměrný počet hroznů na keři (ks)	15,5	15,3	10,1	13,8	13,83	19,2	15,8
Průměrná hmotnost hroznů na keři (kg)	2,98	2,79	2,99	2,88	2,83	2,96	2,53
Průměrná hmotnost hroznů (g)	251,35	241,73	284,31	274,63	235,32	214,71	200,29
Průměrná hmotnost bobule (g)	1,66	1,83	1,92	1,95	1,91	1,95	1,72
Prům.p počet bobulí v hrozně (ks)	228	155	186	166	152	134	118
Průměrná hmotnost třapiny (g)	18,65	10,91	17,55	14,73	13,28	9,61	8,71
Průměrná hmotnost ořezaného réví (kg)	0,49	0,6	0,68	0,62	0,64	0,62	0,63
Prům.p počet výhonů na keři (ks)	8,57	9,88	9,5	9,14	9,78	9,75	10,75
Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,84	1,2	1,17	1,1	1,2	1,03	0,91
Koeficient plodnosti	1,81	1,55	1,06	1,51	1,41	1,97	1,47
Ravaz index (Koeficient využitelnosti réví)	6,08	4,65	4,4	4,65	4,42	4,77	4,02
Předpokládaný výnos (t/ha)	14,75	13,81	14,8	14,26	14,01	14,65	12,52

Tabulka 4: Analytické hodnoty v roce 2023

Přístroj	Parametr	Amos	K1SO4	CR2	Boerner	5BB	125AA	T5C
Miura	Asimil. dusík (mg/l)	188,7	189,12	207,33	203,17	222,14	231,25	227,51
HPLC	Cukernatost (g/l)	221,66	166,9	191,03	191,02	213,05	214,01	227,13
Refraktom.	Cukernatost (°Bg)	22,0	19,7	21,1	20,4	21,6	21,8	22,3
Moštoměr	Cukernatost (°NM)	21,3	18,7	20,2	19,4	20,7	21,0	21,6
Titračně	Kyseliny (g/l)	8,4	9,74	8,51	9,14	10,25	9,89	8,39
HPLC	Kys. jablečná (g/l)	1,92	2,59	2,16	3,38	3,86	2,15	1,67
HPLC	Kys. vinná (g/l)	4,15	4,23	5,74	5,11	5,91	5,22	5,59
HPLC	Kys. citronová (g/l)	0,04	0,06	0,02	0,06	0,07	0,08	0,05
pHmetr	pH	3,11	2,91	3,07	2,91	2,93	2,97	3,06

Hodnoty pH se pohybovaly v úzkém rozmezí 2,91–3,11, přičemž nejvyšší pH bylo zjištěno u podnože Amos a nejnižší u K1SO4 a Boerner. Celkově lze konstatovat, že podnože 125AA a T5C podporovaly vyšší akumulaci cukrů a dusíku, zatímco podnož 5BB se vyznačovala vyšší kyselostí moštu, což může mít významný vliv na technologickou kvalitu hroznů a výsledný charakter vína.

Analýza uvologických, výnosových a analytických charakteristik odrůdy *Hibernal* ukazuje, že trendy mezi jednotlivými podnožemi byly v obou sledovaných letech relativně konzistentní, a to jak z hlediska produkčních parametrů, tak i chemického složení moštu.

Počet hroznů na keři byl v obou letech nejvyšší u podnoží 125AA (19,2 ks) a Amos (15–15,5 ks), zatímco podnož CR2 vykazovala nejnižší hodnoty (10,1 ks). Tento trend se přímo odrazil ve výnosovém potenciálu jednotlivých variant.

Hmotnost hroznů a bobulí byla nejvyšší u podnoží CR2 a Boerner, které vytvářely větší a kompaktnější hrozny. Naproti tomu podnož T5C se vyznačovala nejnižší hmotností hroznů i bobulí v obou letech, což naznačuje omezenější generativní růst.

Vegetativní růst, hodnocený počtem výhonů a jejich šířkou u báze, byl nejintenzivnější u podnože T5C, která měla nejvyšší počet výhonů, avšak s menším průměrem. Naopak podnože K1SO4 a 5BB vykazovaly silnější výhony, což svědčí o vyšší vegetativní aktivitě.

Koeficient plodnosti a Ravazův index dosahovaly nejvyšších hodnot u podnoží 125AA a Amos, které tak vykazovaly příznivý poměr mezi vegetativním a generativním růstem. Nejnižší hodnoty těchto ukazatelů byly zaznamenány u podnoží T5C a CR2, což poukazuje na odlišnou rovnováhu révy u těchto variant.

Výnosové parametry byly mezi jednotlivými roky poměrně stabilní. Předpokládaný hektarový výnos se pohyboval v rozmezí 12,52–14,8 t/ha, přičemž nejvyšších skutečných výnosů dosahovaly podnože 125AA a Amos, zatímco nejnižší výnosy byly opakovaně zaznamenány u podnože T5C.

Výsledky *analytického hodnocení moštu* doplnily produkční charakteristiku jednotlivých podnoží. V obou letech byla u podnoží 125AA, 5BB a T5C zaznamenána vyšší koncentrace asimilovatelného dusíku, zatímco podnož K1SO4 vykazovala nižší hodnoty. *Cukernatost moštu* byla v obou letech nejvyšší u podnoží T5C a Amos, zatímco K1SO4 dosahovala nejnižších hodnot cukrů.

Celková kyselost byla vyšší zejména u podnože 5BB a 125AA, zatímco T5C vykazovala nižší obsah kyselin a zároveň nižší koncentraci kyseliny jablečné, což naznačuje rychlejší průběh zrání hroznů. Hodnoty *pH* se pohybovaly v relativně úzkém rozmezí, přičemž mírně vyšší pH bylo opakovaně zaznamenáno u podnoží Amos a CR2.

Oba sledované roky tak potvrzují, že volba vhodné podnože významně ovlivňuje nejen rovnováhu mezi vegetativním a generativním růstem, velikost hroznů a výnos, ale také analytické složení moštu. Podnože 125AA a Amos kombinují vysoký výnos s příznivou rovnováhou révy a vyváženým chemickým složením hroznů, zatímco podnož T5C nabízí nižší výnos, ale vyšší cukernatost a lepší rovnováhu révy, což může být výhodné z hlediska dlouhodobé udržitelnosti porostu a adaptace na klimatické změny.

DISKUSE

Výsledky dvouletého polního pokusu potvrzují, že podnož významně ovlivňuje rovnováhu révy, výnosové charakteristiky i chemické složení moštu, a to i u PIWI odrůdy *Hibernal*. Konzistentní trendy mezi oběma roky naznačují, že vliv podnože je stabilní a do značné míry nezávislý na meziroční variabilitě klimatických podmínek, což odpovídá závěrům dřívějších studií /5, 10/.

Podnože 125AA a Amos vykazovaly v obou letech vyšší koeficient plodnosti a Ravazův index, což svědčí o příznivém poměru mezi vegetativním a generativním růstem. Tyto podnože zároveň dosahovaly vyšších výnosů bez nadměrného zesílení vegetativního růstu, což je považováno za klíčový předpoklad dlouhodobé produkční stability vinice /6, 11/. Vyšší obsah

asimilovatelného dusíku u těchto podnoží dále podporuje jejich pozitivní vliv na technologickou zralost hroznů a potenciální kvalitu vína /12/.

Naopak podnož T5C se vyznačovala nižším výnosovým potenciálem, menšími hrozny a bobulemi, avšak současně lepší rovnováhou révy a vyšší cukernatostí moštu. Tento typ reakce je často spojován s omezenější dostupností vody a živin, která vede k redukci výnosu, ale může pozitivně ovlivnit kvalitu hroznů a urychlit proces zrání /3, 13/. Nižší obsah kyseliny jablečné u T5C v obou letech rovněž naznačuje rychlejší metabolismus kyselin během zrání, což je typické pro podmínky mírného vodního stresu /2/.

Podnože 5BB a CR2 vykazovaly vyšší vegetativní růst a vyšší celkovou kyselost moštu, zejména v roce 2023. Zvýšený obsah kyselin, především kyseliny jablečné, může souviset s pomalejším průběhem zrání a vyšší vitalitou porostu, jak uvádějí Keller /5/ a Schultz /1/. Tyto podnože mohou být vhodné zejména do teplejších oblastí, kde je žádoucí zachování vyšší kyselosti moštu.

V kontextu probíhajících klimatických změn, charakterizovaných vyššími teplotami a častějšími epizodami sucha během vegetačního období, se volba podnože jeví jako jeden z nejúčinnějších adaptačních nástrojů vinohradnictví /14, 15/. Výsledky této studie potvrzují, že vhodná kombinace podnože a odrůdy může významně přispět k udržení rovnováhy révy, stabilního výnosu i požadované kvality hroznů u PIWI odrůd.

ZÁVĚR

Dvouletý polní pokus s odrůdou *Hibernal* prokázal významný vliv použité podnože na výnosové, uvologické i analytické charakteristiky hroznů a na celkovou rovnováhu révy. Výsledky potvrdily, že jednotlivé podnože se liší nejen schopností ovlivňovat vegetativní a generativní růst, ale také chemické složení moštu, zejména obsah cukrů, kyselin a asimilovatelného dusíku.

Podnože 125AA a Amos se v obou sledovaných letech vyznačovaly vysokým výnosovým potenciálem, příznivými hodnotami koeficientu plodnosti a Ravazova indexu a vyváženým poměrem mezi vegetativním a generativním růstem. Zároveň vykazovaly stabilní analytické parametry moštu, což je předurčuje k využití v podmínkách intenzivní produkce při zachování dobré rovnováhy révy.

Podnož T5C dosahovala nižších výnosů, avšak podporovala vyšší cukernatost moštu, nižší kyselost a celkově lepší rovnováhu révy, což může být výhodné zejména v sušších a teplejších podmínkách a z hlediska dlouhodobé udržitelnosti vinic. Naopak podnože CR2 a K1SO4 vykazovaly nižší produkční stabilitu a méně vyvážené výsledky v některých sledovaných parametrech.

Celkově lze konstatovat, že volba vhodné podnože představuje účinný adaptační nástroj v podmínkách probíhajících klimatických změn. Optimalizace kombinace odrůdy, podnože a vodního režimu je klíčová pro udržení rovnováhy révy, stabilního výnosu a požadované kvality hroznů u PIWI odrůd, jako je *Hibernal*.

LITERATURA

/1/ Schultz, H. R. (2016). Global climate change, sustainability, and some challenges for grape and wine production. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 181–200.

- /2/ van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One*, 51(2), 147–154.
- /3/ Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regina, M. A., Lopes, C. M., Grant, O. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661–676.
- /4/ Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of pre- and post-veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds in grape berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261–267.
- /5/ Keller, M. (2020). *The science of grapevines: anatomy and physiology*. 3rd ed. London: Academic Press.
- /6/ Smart, R., Robinson, M. (1991). *Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management*. Adelaide: Winetitles.
- /7/ van Leeuwen, C., Roby, J. P., de Rességuier, L. (2019). Soil-related terroir factors: a review. *OENO One*, 53(2), 173–188.
- /8/ Ollat, N., Bordenave, L., Tandonnet, J. P., Boursiquot, J. M., & Marguerit, E. (2016). Grapevine rootstocks: origins and perspectives. *Acta Horticulturae*, 1136, 11–22.
- /9/ Pedneault, K., Provost, C. (2016). Resistant grape varieties and organic wine production. *OENO One*, 50(3), 1–16.
- /10/ Ollat, N., et al. (2016). Rootstocks as a component of adaptation to environment. *OENO One*, 50(1), 1–13.
- /11/ van Leeuwen, C., et al. (2019). Terroir and climate effects on grapevine physiology. *Journal of Wine Economics*, 14, 345–366.
- /12/ Bell, S. J., Henschke, P. A. (2005). Implications of nitrogen nutrition for grapes and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11, 242–295.
- /13/ Chaves, M. M., et al. (2010). Grapevine under deficit irrigation. *Functional Plant Biology*, 37, 7–22.
- /14/ Schultz, H. R., Jones, G. V. (2010). Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21, 137–145.
- /15/ van Leeuwen, C., et al. (2024). Adaptation of viticulture to climate change. *OENO One*, 58(1), 1–18.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

VLIV ORGANICKÉHO HYDROSORBENTU NA RŮST A VITALITU KEŘŮ RÉVY V PRVNÍCH LETECH PO VÝSADBĚ

THE INFLUENCE OF ORGANIC HYDROSORBENT ON THE GROWTH AND VITALITY OF VINE IN THE FIRST YEARS AFTER PLANTING

Radek Sotolář¹, Martin Stehlík², František Hnilička³, Oldřiška Sotolářová¹, Tomáš Rýgl³,
Jaroslav Šuldes¹

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství,
Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra technologických zařízení
staveb, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát, Martin.Stehlik@seznam.cz

³ Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin,
Kamýcká 129, 165 21 Praha– Suchbát, hnilycka@af.czu.cz

Summary

The study focused on evaluating the effect of hydrosorbent on growth and vitality of the Chardonnay variety during the years 2022 to 2023, grafted on two different rootstocks. Hydrosorbent was applied in both monitored years to the surface around the vine seedlings and incorporated manually with a hoe. Both uvological parameters were monitored, i.e. the number of leaves, length and width of the shoot, and physiological parameters such as leaf area, photosynthesis rate, transpiration and conductivity. The rootstock variety Kober 5BB proved more successful for the given location, where more vital growth, larger leaves, their greater number and higher yield were found. The Richter 110 rootstock inhibited growth and fertility more, but the grapes showed higher sugar content. Compared to the control, the variants with hydrosorbent actually had better most of the monitored parameters.

Key words: organic hydrosorbent, rootstock, growth, vitality, uvology, physiological parameters

Souhrn

Studie byla zaměřena na hodnocení vlivu hydrosorbentu na růst a vitalitu u odrůdy Chardonnay během let 2022 až 2023, naštěpovaných na dvou odlišných podnožích. Hydrosorbent byl aplikován v obou sledovaných letech na povrch kolem sazenic révy a zapraven ručně motykou. Sledovaly se parametry jednak uvologické, tj. počet listů, délka a šířka výhonu, a fyziologické jako listová plocha, rychlost fotosyntézy, transpirace a vodivost. Pro danou lokalitu se více osvědčila podnožová odrůda Kober 5BB, kde byl zjištěn vitálnější růst, větší listy, jejich větší počet i vyšší výnos. Podnož Richter 110 více brzdila růst i plodnost, ale hrozny vykazovaly vyšší cukernatost. Oproti kontrole měly varianty s hydrosorbentem skutečně lepší většinu sledovaných parametrů.

Klíčová slova: organický hydrosorbent, podnože, růst, vitalita, uvolňovací a fyziologické parametry

ÚVOD

Réva vinná (*Vitis vinifera*) je významná zemědělská plodina, která má vysoké nároky na půdní úrodnost, strukturu a dostatek živin. Výživa vinice je každoroční operací, nejčastěji však pomocí umělých hnojiv jako je NPK, Cererit, aj. Nicméně neméně důležité je i hnojení organickými hnojivy (nejčastěji jednou za 4-5 let), zejména chlévským hnojem /1, 2/. Ovšem objem živočišné výroby se snižuje, jeho cena tak roste (včetně dopravy), a proto se v praxi uplatňují i další alternativy. Jde zejména o různé produkty na bázi kompostů /3, 4, 5, 6/. V posledních letech tedy roste zájem o udržitelná a ekologická řešení hnojení, mezi které patří i **hydrokompost** /7/. Hydrokompost (Peletsep-Heesters s.r.o.) je české patentované organické hnojivo s unikátními vlastnostmi ve formě praktických granulí, které se skládá z kompostu (tráva, listí, hnůj), suchého separátu (hnůj, siláž, senáž), biouhlu (zuhelnatělá biomasa) a plev (ječmen, pšenice, řepka a hořčice). Toto hnojivo má vlastnosti tzv. reverzibilního hydrosorbentu ve formě praktických granulí. Při kontaktu s vodou zvětší svůj objem až o 450 % a pomalu vodu pouští zpět do půdy (1 kg granulí zadrží 7,6 l vody). Díky tomu pomáhá rostlinám překlenout i delší sérii suchých a teplých dnů. Během roku dochází k postupnému rozkladu a uvolňování živin z aplikovaných granulí. Hydrokompost se využívá jako přírodní hnojivo a půdní kondicionér /8/.

Tyto pomocné látky by měly podpořit lepší a rychlejší růst testovaných rostlin. Hydrokompost je bohatý na dusík (N), fosfor (P), draslík (K) a stopové prvky, které jsou nezbytné pro růst révy. Aplikace hydrokompostu přispívá ke zlepšení výživy rostlin, což by se mělo projevit zdravým a rychlejším růstem letorostů s většími listy a lepší vitalitou, neboť méně stresované a lépe vyživované rostliny vykazují vyšší odolnost vůči chorobám a suchu či dalším stresovým faktorům /7, 8/.

Pokus měl potvrdit hypotézu, že organický hydrosorbent (hydrokompost) v období prvních let po výsadbě má pozitivní vliv na zakořeňování a tím pádem i na růst letorostů a vývoj listové plochy. Rychlejší růst a hustší olistění má naopak pozitivní vliv na tvorbu kořenového vlášení a lepší příjem živin. Rostliny by pak měly vykazovat lepší vitalitu a oddalovat případné poškození v důsledku stresových událostí (např. sucha). Dále zjistit která z testovaných je pro danou lokalitu vhodnější.

MATERIÁL A METODIKA

Pokus proběhl na experimentální vinici MENDELU v Lednici (trať Na Valtické: 48.788380, 16.796148), na odrůdě Chardonnay v roce 2022 a následně 2023. Průměrná roční teplota v této lokalitě je 10 °C a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 516,6 mm. Klimatické podmínky pro obě vegetační období jsou zaznamenány v grafu 1. Oba experimentální roky byly srážkově podnormální. Půda je hlinitopísčité s podílem 20–24 % jílovitých částic. Analýza půdy (v hloubce 30 cm) ukázala následující parametry: pH 7,5; N_{min} 18,2 mg · kg⁻¹; P 51,7 mg · kg⁻¹; K 266,8 mg · kg⁻¹; Ca 6687 mg · kg⁻¹ (duben 2021). Výsadby byly uspořádány ve sponu 2,20 m × 0,9 m. Zaváděné vedení bylo standardní rýnsko-hesenské s horizontálně vyvázanými tažni (jeden kmínek/jedna tažeň). Pokusné řádky byly

obhospodařovány v rámci ekologického režimu (ekologické vinohradnictví). Sazenice odrůdy Chardonnay, klon Entav-96 na podnožích 5BB a 110R, byly pořízeny od firmy Tsida Illmitz. Sazenice byly zasazeny na jaře roku 2022 a po dobu vegetace byl držen jeden nejsilnější letorost (tvorba kmínku). V následujícím roce byl tento výhon seříznut cca 10 cm pod vodícím drátem (tvorba hlavové části) a některé letorosty již nesly i první hrozny. Hydrosorbent byl aplikován ručně na počátku vegetace (20.3.) v dávce 350 g/rostlinu kolem sazenice a motykou zapraven do svrchní vrstvy půdy po oba roky.

Stručný popis sledovaných podnoží

Kober 5 BB (5 BB): Tato podnožová odrůda je výsledkem křížení mezi druhy *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* (Sigmund Teleki a Franz Kober, 1896). 5BB je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry i k hád'átkům rodu *Meloidogyne*. Na druhou stranu je citlivější na *Agrobacterium vitis*. Novější selekce těchto podnoží odolávají až 35 % „celkového“ vápníku v půdě (CaO, CaCO₃) a zhruba 20 % „aktivního“ vápníku (Ca²⁺). Odolnost vůči chloróze vyvolanou nedostatkem či nadbytkem železa je střední až dobrá. 5BB je také dobře přizpůsobena vlhkým podmínkám a zejména písčítým půdám (má hlubší kořenový systém). Rychlost růstu a produkce hmoty je za optimálních půdních podmínek velmi vysoká (až na úkor plodnosti), proto se tato podnož spíše využívá do chudších sušších písčitých či kamenitých půd, které brzdí její růst /2, 9, 10/.

Richter 110 (110 R): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* cv. Rességuier n°2 a *Vitis rupestris* cv. Martin od Franze Richtera, 1902. Je dobře přizpůsobena suchu (vytváří hluboký kořenový systém) a proto se využívá na chudší kamenité kyselejší půdy. Je citlivější na přebytek vody v půdě a vápenité půdy obecně. 110 R má vysokou toleranci k révokazu a nízkou toleranci k hád'átkům. Podporuje plodnost, ale na druhou stranu zpomaluje růstový cyklus a dozrávání, zejména v úrodných půdách /9, 11/.

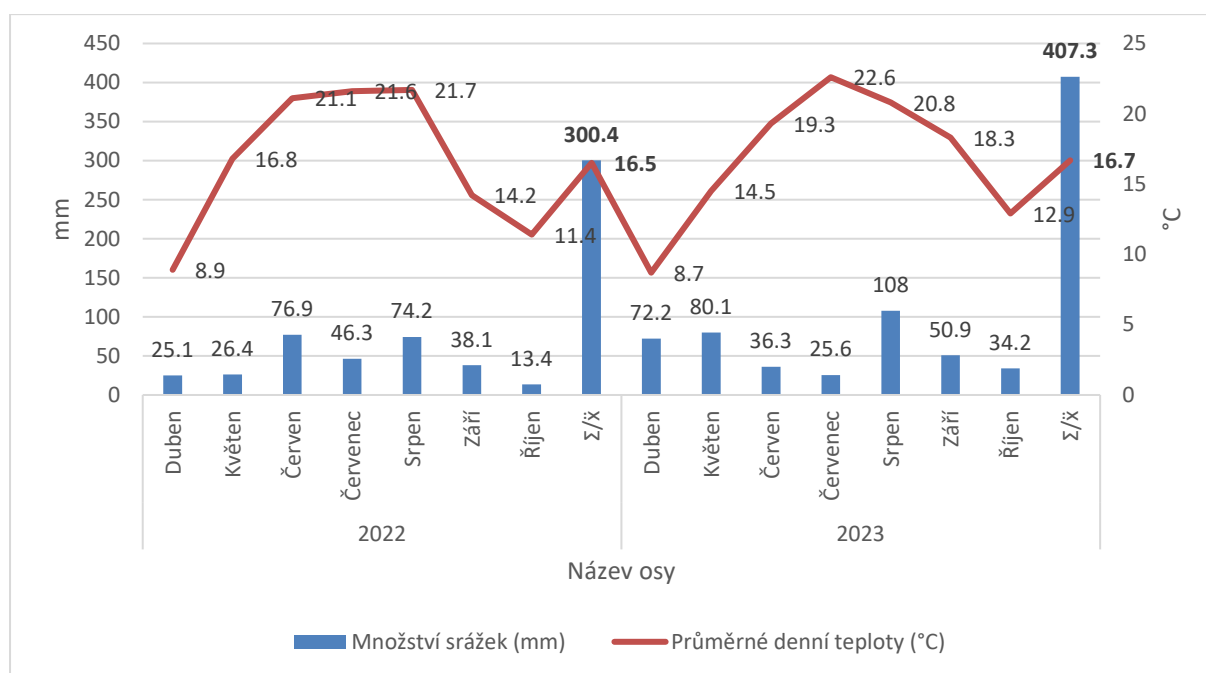
Uvologická a analytická měření

Koncem vegetace (září/říjen – před opadem listů) zaznamenáváme na hlavní růstové ose (letorost/výhon): průměrnou délku výhonu, šířku, délku internodia a počet listů (upravená metodika dle Kraus a Sotolář /12, 13/): *Délka a šířka výhonu* = bujnost růstu – předpokladem bujného růstu je i rychlejší tvorba většího kořenového systému nutného do našich nastupujících sušších podmínek. Horká a suchá léta bujný růst utlumují. *Počet listů* = souvisí s růstem a délkou internodií, ale také se jedná o odrůdovou vlastnost (zejména u odrůdy Sauvignon) a předpokladem je, že čím více zdravých fotosynteticky aktivních listů, tím více budou mít zralé hrozny vyšší cukernatost. *Délka internodií* = souvisí s růstem a počtem listů, kratší internodia mají odrůdy s menším listem a jejich větším počtem (Sauvignon), bohužel však s hustým habitem (tvoří méně vzdušné keře), což vede k možnému nárůstu houbových chorob, zejména padlí. Delší internodia mají odrůdy s většími listy (např. Frankovka či Ryzlink), které bývají naopak citlivější na plíseň révovou. *Hmotnost hroznu* = vyšší hmotnost hroznu souvisí často s větším počtem bobulí v hroznu nebo jejich vyšší hmotností a přímo se odráží ve výnosu. *Hmotnost bobule* = je odvislá od počtu bobulí v hroznu. *Hmotnost třapiny* = hmotnější třapinu mají odrůdy s větším hroznem a varianty s výživou (dusíkem) a většími bobulemi. Pro analytická data v roce 2023 byla využita vysokoúčinná kapalinná chromatografie (HPLC Shimadzu), kde byl standardním způsobem stanoven obsah zkvasitelných monosacharidů v moštu (glukoza + fruktóza) a konkrétní obsah jednotlivých hlavních kyselin vinného moštu (tj. kyselina vinná, jablečná a citronová)/14/. Celkový obsah kyselin v moštu byl stanoven klasicky

titračně. Pro určení cukernatosti moštu byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity šuplery a laboratorní digitální váhy značky Kern.

Měření fyziologických parametrů

Výměna plynů v listech (rychlost fotosyntézy a transpirace) se měřila na zcela rozvinutém listu, v centrální části listové čepele. Čistá rychlost fotosyntézy (PN; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a substomatální koncentrace CO_2 (Ci; mol^{-1}) byly měřeny nedestruktivní metodou za použití integrovaného fluorometru a systému výměny plynů – iFL (ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, UK). Rychlost výměny plynů byla měřena ráno (8-13 h UTC) při hustotě ozáření $650 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a teplotě 25°C dle modifikované metodiky Holé et al. /15/. Dále se zjišťovala celková listová plocha listu ($LA = k \cdot L \cdot W$) a následně celková listová plocha ($LA = n \cdot k \cdot L \cdot W$) vyjádřená v $\text{m}^2 /2, 16/$. Transpirace (uvolňování vody ve formě vodní páry přes listy) ovlivňuje vodní bilanci keře (odolnost k suchu) a souvisí s ní vodivost průduchů, čímž sledujeme schopnost propouštět vodní páru nebo oxid uhličitý; fotosyntéza (přeměna světelné energie na chemickou) souvisí zase s plochou listovou, kde platí že větší plocha = více energie pro tvorbu cukrů v bobulích a čím větší plocha, tím více světla může list zachytit. Poměr mezi listovou plochou a výnosem (plody) je zásadní pro kvalitu vína /2, 17/.



Graf 1. Meteorologické podmínky lokality během vegetačního období

Design pokusu

Schéma pokusu ukazuje tabulka 1. Šlo o 4 varianty: Varianta A s povrchovou aplikací Hydrosorbentu do hloubky cca 15 cm okolo sazenic odrůdy Chardonnay na podnoží Kober 5BB, v dalších letech pak okolo kmínků pokusných rostlin (po ručním rozhozu granulí se lehce zapravily do půdy pomocí motyky); Varianta B s povrchovou aplikací Hydrokompostu okolo sazenic odrůdy Chardonnay na podnoží Richter 110; Varianta C opět s podnoží Kober 5BB, ale

bez aplikace kompostu a podobně Varianta D představovala kontrolní keře bez Hydrosorbentu na podnoží Richter 110. Obě aplikace byly provedeny na začátku vegetačního období dne 20.3.2022 a 2023, v dávce 350 g/keř révy.

Tabulka 1: Schéma pokusu

Varianty	Podnož	Hloubka aplikace	Počet keřů
Varianta A (povrchová aplikace)	Kober 5BB	0-15 cm okolo sazenice/kmínku	25 ks
Varianta B (povrchová aplikace)	Richter 110	0-15 cm okolo sazenice/kmínku	25 ks
Varianta C (kontrolní – bez aplikace)	Kober 5BB	Bez aplikace	25 ks
Varianta D (kontrolní – bez aplikace)	Richter 110	Bez aplikace	25 ks

VÝSLEDKY A DISKUSE

V prvním roce po výsadbě (2022) šlo zejména o dobré zakořenění testovaných rostlin a eliminaci výpadků. Hlavním ukazatelem vitality tak bylo měření délky hlavního výhonu (na podzim - září) s listy a jejich fyziologické parametry (v létě - červenec). V druhém roce již rostliny více rostly (byly již vytvořeny základy kořenového systému) a ukázaly i první hrozny, navíc ročník 2023 byl srážkově i teplotně příznivější (byly vyšší průměrné teploty i více srážek za vegetační období, viz. graf 1).

Z tabulky 2 je zřejmé, že varianty s aplikací hydrosorbentu vykazovaly nepatrně lepší uvologické hodnoty oproti kontrole, a proto se v tomto případě nedá vyvrátit hypotéza, že hydrosorbent v období prvních let po výsadbě má pozitivní vliv na zakořeňování a tím pádem i na růst letorostů a vývoj listové plochy. Rychlejší růst a hustší olistění má poté pozitivní vliv na tvorbu kořenového vlášení a tím pádem lepší příjem živin. U předchozích pokusů bylo dosaženo daleko lepších výsledků, ovšem u starších rostlin révy, s hloubkovou aplikací hydrokompostu do kořenové zóny /7, 8/.

Naopak výrazný byl rozdíl při porovnání testovaných podnoží. Rostliny s podnoží Kober 5BB vykazovaly zřetelně bujnější růst a měly větší tmavěji zelené listy. Nejbujněji rostly keře varianty A (podnož 5BB/hydrosorbent) v druhém sledovaném roce (169,21 cm). Tato varianta měla také největší listy (0,72 cm²) a nejhmotnější hrozny (120,81 g). Varianta B (podnož 110R/hydrosorbent) vykazovala oproti předešlé variantě výrazněji slabší růst (110,99 cm), měla menší světle zelené listy (0,23 cm²) a méně hmotné hrozny (112,54 g). Za to však hmotnější bobule (1,25 g). Lze tak souhlasit s tvrzením některých studií, že podnož 110R podporuje umírněnou plodnost (střední výnosy s dobrou cukernatostí), ale na druhou stranu zpomaluje růstový cyklus a dozrávání (viz. tab. 4), zejména v úrodných půdách /6, 8/. Slabší růst a vitalita mohla být způsobena i pH půdy, neboť tato podnož je přednostně určena spíše do kyselejších půd /9, 11/. Nejslaběji pak rostla varianta D (podnož 110R/kontrola bez hydrosorbentu). Zdá se tedy, že podnožová odrůda Richter 110 není pro odrůdu Chardonnay úplně optimální při očekávání vyšších výnosů. To potvrzuje i studie Wooldridge a kol. /18/, potvrzující slabší výnosy u odrůdy Chardonnay, ale zato vyzdvihují vysokou kvalitu vyrobeného vína.

Předchozí výsledky doplňují i data fyziologických měření, kde vyšších hodnot dosahovaly varianty s podnoží Kober 5BB, které vykazovaly oproti variantám s podnoží Richter 110 jednou tak velké listy. Větší list mívá celkovou fotosyntézu vyšší, díky větší ploše,

ale nemusí mít vyšší rychlost fotosyntézy na jednotku plochy, díky většímu zastínění listů a horšímu proudění vzduchu kolem nich /16/. Toto se však nepotvrdilo, neboť mladé tříleté rostliny neměly až zas tak hustou listovou stěnu a zastínění listů bylo minimální. Nejvyšší rychlost fotosyntézy byla zaznamenána u varianty A v roce 2023 ($6,40 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), naopak nejnižší pak u varianty D v roce 2022 ($5,21 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). Ovšem na rychlost fotosyntézy má vliv celá řada faktorů /19/. Vyšší rychlost ovlivňuje zejména teplota (opt. $20-25^\circ\text{C}$), vyšší koncentrace CO_2 a více světla + dostupnost vody. Právě nedostupnost vody (během měření v létě) naopak způsobuje uzavírání průduchů, což brání vstupu CO_2 a brzdí se proces fotosyntézy. Nízká vlhkost vzduchu (sucho) má za následek i vyšší transpiraci, snížení turgoru a uzavření průduchů /19/. Stres vyvolaný suchem může být odpovědí na lehce horší výsledky u kontrolních variant a variant s podnoží Richter 110. Navíc podnož Richter 110 není vhodná do vápenitých půd, což mohlo mít opět negativní vliv na dosažené výsledky. Odrůdové rozdíly potvrzuje i Herrera et al. /20/.

Tabulka 2: Sledované uvologické a fyziologické charakteristiky

Roky/Varianty/Uvologické parametry	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
	Povrchová aplikace Podnož K5BB (Varianta A)		Povrchová aplikace Podnož 110R (Varianta B)		Kontrola bez aplikace/5BB (Varianta C)		Kontrola bez aplikace/110R (Varianta D)	
Průměrný počet plně vyvinutých listů (ks)	25,66	32,02	22,12	23,50	25,60	31,81	21,55	22,05
Průměrná délka hlavního výhonu (cm)	141,98	169,21	103,22	110,99	140,87	169,01	99,81	108,15
Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1,10	1,12	1,00	1,03	1,09	1,10	0,99	1,09
Průměrná délka internodia (cm)	5,57	5,71	5,67	5,92	4,49	5,71	4,51	5,26
Průměrná hmotnost hroznů (g)	-	120,82	-	112,54	-	120,51	-	89,97
Průměrná hmotnost bobule (g)	-	1,24	-	1,25	-	1,19	-	1,22
Průměrná hmotnost třapiny (g)	-	7,15	-	6,34	-	6,75	-	6,19
Prům. počet hroznů na keři (ks)	-	3,75	-	2,02		2,25		1,99
Předpokládaný výnos (t/ha)	-	0,09	-	0,05	-	0,06	-	0,04
Výpočet prům. listové plochy listu (cm^2)	223,12	225,25	126,56	129,04	220,01	222,98	124,41	127,89
Celková prům. listová plocha na keři (m^2)	0,573	0,721	0,189	0,233	0,511	0,705	0,171	0,230
Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	6,28	6,40	5,22	5,58	6,22	6,39	5,21	5,56
Rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2,39	2,43	1,67	2,09	2,36	2,42	1,65	1,88
Vodivost průduchů ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,078	0,094	0,064	0,081	0,071	0,089	0,060	0,079

Z naměřených hodnot transpirace je patrné, že i nejvyšší transpiraci vykazují varianty s podnoží Kober 5BB. Stejně tak vykazovaly i vyšší stomatální vodivost, čili míru jak snadno mohou plyny proudit skrz průduchy, což je klíčové pro příjem CO_2 (fotosyntézu), výdej kyslíku

a výpar vody (transpiraci). Prokázaný vliv podnože a odrůdy na fyziologické charakteristiky uvádí také např. Aloni et al. /21/, Nikolaou et al. /22/ nebo Prinsi et al. /23/.

Tabulka 3: Analytické parametry hroznů odrůdy Chardonnay (22-23.9.2022/23)

Přístrojové vybavení	Analytické parametry	Povrchová aplikace/5BB (Varianta A)	Povrchová aplikace/110R (Varianta B)	Kontrola bez aplikace/5BB (Varianta C)	Kontrola bez aplikace/110R (Varianta D)
Miura	Asimilovatelný dusík v hroznech (mg/l)	169,22	149,67	160,34	141,36
HPLC	Zkvasitelné cukry – Glukosa + Fruktosa (g/l)	230,87	243,12	232,04	239,17
Refraktometr	Cukernatost hroznů (°Bx)	21,20	22,60	21,10	22,25
Moštoměr	Cukernatost moštu (°NM)	20,29	21,90	20,20	21,55
Titračně	Kyseliny celkové (g/l)	8,43	8,03	8,12	8,15
HPLC	Kyselina jablečná (g/l)	3,26	3,07	2,99	3,02
HPLC	Kyselina vinná (g/l)	5,22	4,79	5,94	5,01
HPLC	Kyselina citronová (g/l)	0,09	0,11	0,04	0,10
pHmetr	pH moštu	2,98	2,96	2,87	2,99

Kvalitativní parametry hroznů ukazuje tabulka 3. Dostatečně vyzrálé hrozny mají obvykle 200-250 g/l zkvasitelných monosacharidů v moštu /13, 24/, což je ideální množství pro optimální činnost kvasinek a výrobu vína v kategorii pozdní sběr (cukernatost min. 21 °NM), čehož v době analýzy dosáhly všechny sledované varianty. Nejvyšší hodnoty vykazovala varianta B (110R/hydrosorbent) s hodnotou 243,12 g/l a cukernatostí 21,9 °NM (patrně díky menšímu počtu hroznů na rostlině).

Optimální hodnoty asimilovatelného dusíku hroznech (YAN – yeast assimilable nitrogen) jsou uváděny v rozmezí 150-200 mg N/l /13, 24/ a tuto hranici splňovaly jen varianty A a C – tedy s podnoží Kober 5BB (> 160 mg/l). Vyšší hodnoty podporují rychlejší kvašení, ale tím i rychlé zahřátí kvasícího moštu a možný vznik sirkových tónů; nižší hodnoty pak mohou za pomalejší kvašení a možný vznik oxidačních tónů ve víně. Pokud je YAN pod hodnotou 140 mg/l doporučuje se již dusíkatá výživa (např. diamoniumfosfát DAP) /24/.

Důležitý je i poměr cukrů a kyselin v moštu. Zejména při vysokých letních teplotách v posledních letech (vyšší maximální denní i noční teploty) je důležité zachování obsahu kyselin v bobulích pro stabilitu výsledného vína. Minimální množství kyselin (> 5 g/l) vykazovaly všechny varianty (8,03 - 8,43 g/l). Rozdíly mezi jednotlivými hlavními kyselinami obsaženými v moštu nebyly statisticky významné. Stejně tak rozdíly v pH moštu (2,87 – 2,99).

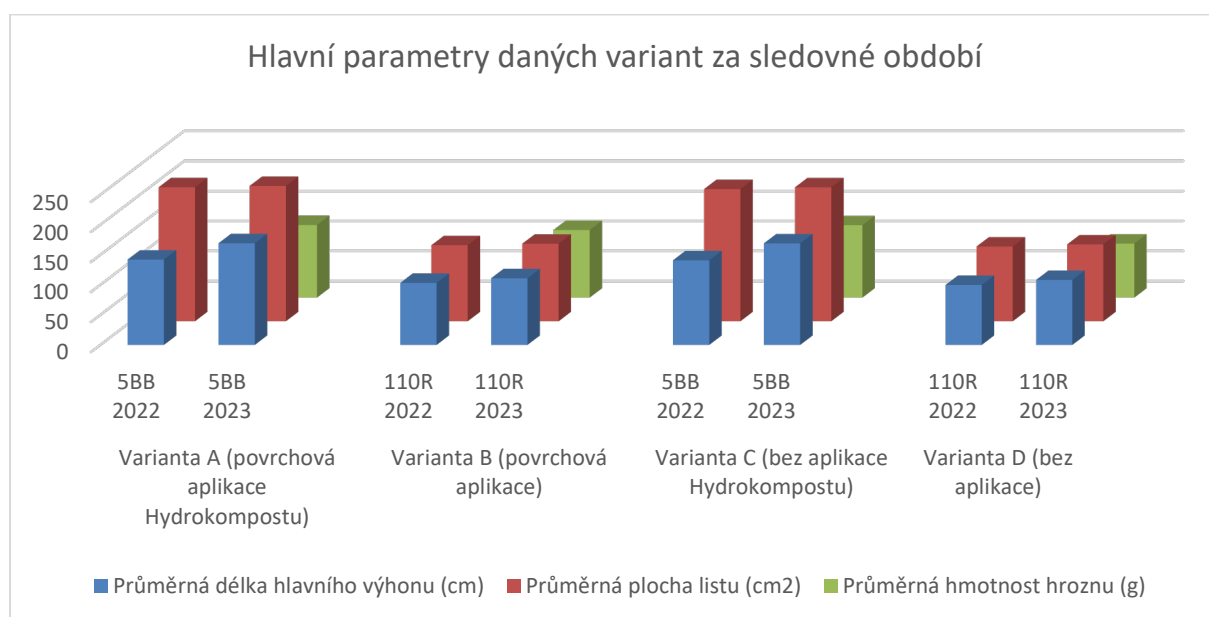
Tabulka s fenofázemi kopíruje dané ročníky (viz. graf 1), kde ročník 2022 se vyznačoval rychlejším nástupem vegetace (díky vyšším jarním teplotám), včetně ranějšího kvetení, ale podzim byl chladnější s minimem srážek; ročník 2023 měl pozdější nástup vegetace i kvetení (nižší teploty, deštivo), ale vyšší teploty v létě i na podzim urychlovaly zrání hroznů. Zajímavé

však byly rozdíly mezi variantami s podnožemi, kde podnož Richter 110 evidentně zpožďuje nástup rašení, jak to popisují i některé studie /9, 11/.

Tabulka 4: Hlavní fenofáze ve sledovaném období

Roky/Varianty/Fenofáze	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
	Povrchová aplikace/ K5BB (Varianta A)		Povrchová aplikace/110R (Varianta B)		Kontrola bez aplikace/5BB (Varianta C)		Kontrola bez aplikace/110R (Varianta D)	
Rašení (datum)	06.04.	10.04	09.04.	13.04.	06.04.	11.04.	09.04.	13.04
Kvetení (datum)	09.06.	12.06.	10.06.	13.06.	09.06.	12.06.	10.06.	13.06.
Zrání/sklizeň (datum)	23.9.	22.9.	23.9.	22.9.	23.9.	22.9.	23.9.	22.9.
Vegetační doba (dny)	170	165	167	162	170	164	167	162

Tabulka s fenofázemi kopíruje dané ročníky (viz. graf 1), kde ročník 2022 se vyznačoval rychlejším nástupem vegetace (díky vyšším jarním teplotám), včetně ranějšího kvetení, ale podzim byl chladnější s minimem srážek; ročník 2023 měl pozdější nástup vegetace i kvetení (nižší teploty, deštivo), ale vyšší teploty v létě i na podzim urychlovaly zrání hroznů. Zajímavé však byly rozdíly mezi variantami s podnožemi, kde podnož Richter 110 evidentně zpožďuje nástup rašení, jak to popisují i některé studie /9, 11/.

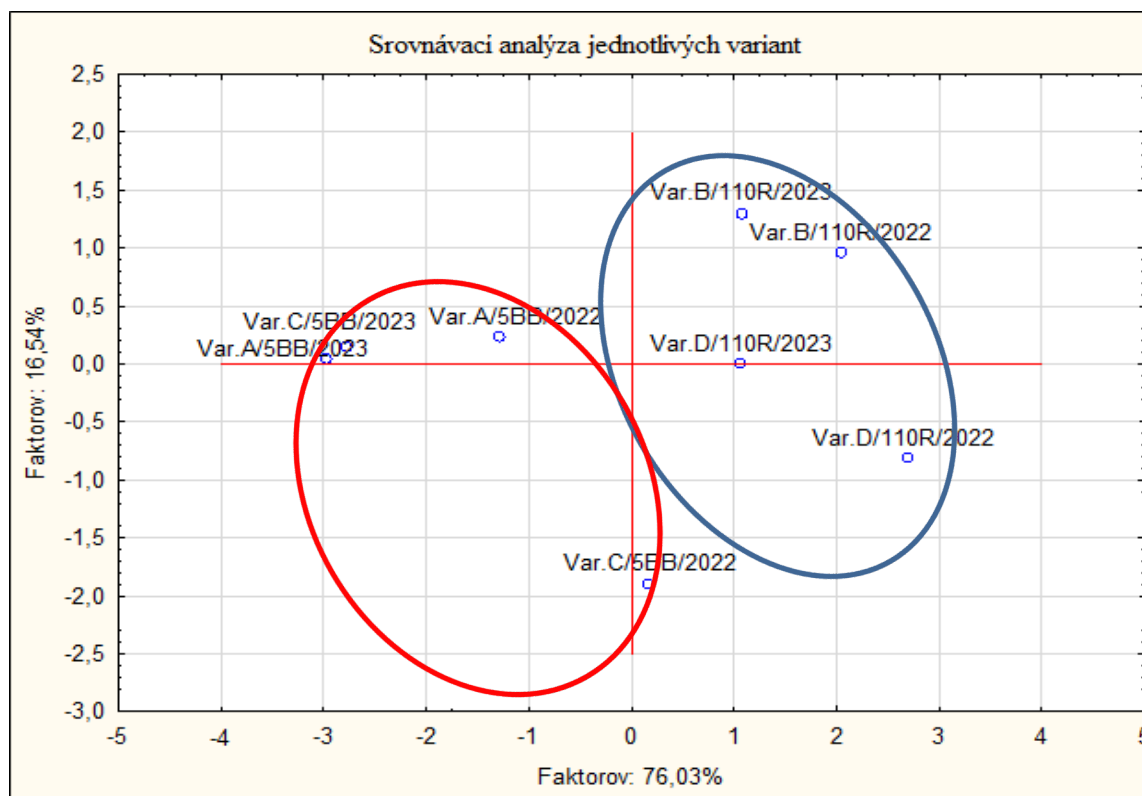


Graf 2. Hlavní sledované parametry ovlivňující růst a vitalitu rostlin za oba roky

Graf 2 demonstruje rozdíly variant zejména mezi sledovanými podnožemi u hlavních sledovaných parametrů znázorňující růst (varianty s podnoží Kober 5BB vykazovaly intenzivnější růst a tím i větší listovou plochu po oba sledované roky). Nejvýraznější rozdíl je patrný zejména ve velikosti listů, respektive listové plochy u variant s podnoží Kober 5BB oproti variantám s podnoží Richter 110.

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byla použita PCA metoda (Principal component analysis) v programu Statistika14. Z grafu 3, který udává vzájemné srovnání všech měřených parametrů mezi sebou, lze vidět rozdíly mezi podnožemi (Kober 5BB – červená elipsa a Richter 110 – modrá elipsa) i rozdíly mezi ročníky u jednotlivých variant, kde výrazně

odlišné (mimo kvadrant) vidíme varianty Var.C/5BB/2022 a Varianta D/110R/2022, tj. kontrolní varianty bez aplikace z ročníku 2022. Ročník 2022 byl více sušší (méně srážek za vegetační období) a sazenice měly malý kořenový systém (rok po ujetí). Ročník 2023 byl srážkově optimálnější a kořenový systém větší, proto byly naměřené výsledky lepší nežli z předešlého ročníku.



Graf 3: Vzájemné srovnání všech sledovaných variant a komponent pomocí shlukové analýzy

ZÁVĚR

Každým rokem od výsadby (2022) docházelo k intenzivnějšímu růstu ponechaného výhonu, v důsledku nárůstu kořenové hmoty. Nejbujněji a nejvitálněji rostly varianty s podnoží 5 BB, tedy podnože do půd s vyšším pH a spíše do sušších podmínek, tj. přesně do simulovaných podmínek tohoto pokusu. Tyto varianty měly mimo bujnějšího růstu i větší listy (vyjádřeno listovou plochou) umožňující rychlejší výměnu plynů i fotosyntézu. Nicméně vyšší cukernatost hroznů vykazovaly varianty s podnoží Richter 110, díky nižšímu počtu menších, méně hmotných hroznů na rostlinu. Varianty s hydrosorbentem vykazovaly nepatrně lepší růst – delší výhony, větší počet listů a větší listovou plochu. Hydrosorbent by měl zlepšovat půdní strukturu, zvýšit retenci vody a postupně dodávat živiny a podporovat tak mikrobiální aktivity v půdě a tím v klíčovém období v prvních letech po výsadbě podpořit zakořenění a růst révových keřů. Faktem je, že během pokusu nedošlo k úhynu žádné rostliny. Ovšem faktorů pro dobré zakořenění a růst je celá řada – příprava půdy, kvalita sazenic, podnož, ročník – a proto je nutné tyto pokusy vícekrát opakovat. Podnožová odrůda Kober 5BB je pro danou lokalitu lepší volbou, díky vitálnějšímu růstu a lepší plodnosti.

LITERATURA

- /1/ Hlušek, J., Lošák, T., Pavloušek, P., Baroň, M., Šafránková, I., Zemánek, P., Burg, P. (2015): Réva vinná. Profi press, Praha. ISBN: 978-80-86726-67-0.
- /2/ Pavloušek, P. (2024): Pěstování révy vinné – moderní vinohradnictví, Graga Praha, (druhé rozšířené vydání). ISBN 9788027131662.
- /3/ Zatloukal, P., Zemánek, P., Čížková, A., Mašán, V. (2019): Evaluation of compost related to nutrient sources and grain composition. MendelNet, Brno. https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2019/mnet_2019_full.pdf
- /4/ Burg, P., Mašán, V. (2024): Zařízení pro bodovou aplikaci organické hmoty. Vinař – sadař, 6: 8–10. ISSN 1804-3054.
- /5/ Miháliková, M., Bářková, K., Dvořák, P., Kara, S., Almaz, C., Král, M., Badalíková, B., Hejátková, K., Mašán, V., Burg, P., Plíva, P. (2025): Effect of surface-applied compost on soil properties. 2025. Soil and Water Research. 20(2), 71–83. ISSN 1801-5395. <https://doi.org/10.17221/148/2024-SWR>
- /6/ Ponchia, G., Bozzolo, A., Tateo, F. & Concheri, G. (2012): Compost application in the vineyard and its influence on soil characteristics, vegetative and productive behaviour of grapevine. Acta Hort. 938: 437-444.
- /7/ Sotolář, R., Stehlík, M. (2025): Porovnání vitality a výnosu keřů révy s využitím hydrokompostu (Peletsep®). Zahradnictví, 1:40-44. ISSN 1213-7596
- /8/ Heesters s.r.o. (2025): Hydrokompost – Peletsep®. <https://hydrokompost.cz/>
- /9/ Plant Grape (INRA, IFV): Catalogue of grape vines cultivated in France. 2025. <https://www.plantgrape.fr/en/varieties/rootstock-varieties>
- /10/ Galet, P.: Cépages et vignobles de France. Ed. Dehan, Montpellier, Francie. 1988.
- /11/ Smart, R.: Vine rootstocks in the *Oxford Companion to Wine* 4th edition ed. Jancis Robinson and Julia Harding MW, Oxford University Press, 2015, p.628.
- /12/ Kraus, V.: Korelace při tvarování révy ve vztahu k agrotechnickým opatřením. Závěrečná zpráva č. VI-4-3 (VI-1)/1980, VŠZ Brno.
- /13/ Sotolář, R.: Srovnání uvologických a analytických parametrů u různého typu vedení révy. Vinař – sadař, 1/2023: 30-33.
- /14/ Nováková L., Douša M. (2013): Moderní HPLC separace v teorii a praxi I. a II., Praha. https://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/C8102/um/HPLC_spec_metody.pdf
- /15/ Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., Hniličková, H. (2010). The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? *Photosynthetica*, 48(4), 545-558.
- /16/ Slavíková, J. (1986): Ekologie rostlin, Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- /17/ Kraus, V., Hubáček, V., Ackermann, P. (2004): Rukověť vinaře. Květ Praha. ISBN 80-209-0327-5
- /18/ Wooldridge, J., Louw, P.E., Conradie, W. J. (2016): Effects of rootstock on grapevine performance, petiole and must composition, and overall wine score of *Vitis vinifera* cv. Chardonnay and Pinot noir. South African Journal of Enology and Viticulture, 31(1): 45-48.
- /19/ Kincl, M., Faustus, L. (1978): Základy fyziologie rostlin, SPN Praha.
- /20/ Herrera JC, Hochberg U, Degu A, Sabbatini P, Lazarovitch N, Castellarin SD, Fait A, Alberti G, Peterlunger E. (2017): Grape metabolic response to postveraison water deficit is affected by interseason weather variability. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65, 5868–5878.
- /21/ Aloni R., (1982): Role of cytokinin in differentiation of secondary xylem fibers, Plant Physiology, 70, no. 6, 1631–1633.
- /22/ Nikolaou N., Koukourikou M., Angelopoulos K., and Karagiannidis N. (2003): Cytokinin content and water relations of “Cabernet Sauvignon” grapevine exposed to drought stress, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 78, no. 1, 113–118.
- /23/ Prinsi B., Simeoni F., Galbiati M., Meggio F., Tonelli C., Scienza A., and Espen L. (2021): Grapevine rootstocks differently affect physiological and molecular responses of the scion under water deficit condition, Agronomy, 11, no. 2, 289.
- /24/ Ribéreau-Gayon, P., Branco, J.M. (2006): Handbook of enology: The chemistry of wine stabilization and treatments. Chichester. ISBN 97804700103962.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

MONITORING TĚŽKÝCH KOVŮ Z DOPRAVY V HROZNECH A VÍNĚ RÉVY VINNÉ

MONITORING OF HEAVY METALS FROM TRAFFIC IN GRAPES AND WINE OF VITIS VINIFERA

František Hnilička¹, Radek Sotolář², Tomáš Rýgl¹, Lubomír Lampíř³, Martin Koudela³

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin,
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, rygl@af.czu.cz

² Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství,
Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

³ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních
zdrojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, lampir@af.czu.cz

Summary

This study evaluates the effect of road traffic on the accumulation of heavy metals in grapes, musts and wines of two grape varieties (Riesling weiss and Blaufränkisch). The samples came from vineyards located 70 m from the D2 motorway (Velké Němčice) and were compared with a control vineyard in Popice without significant traffic load. The content of elements was determined using ICP-MS at individual stages of wine production. The results show a significantly higher content of Mn, Cu, Zn, Cr and Ba in grapes exposed to the motorway. However, the technology of wine production, especially settling, fermentation and purification, significantly reduced the metals. The final wines had a two-fold lower content of elements, not exceeding toxicological or legislative limits. The study confirms that transport is a significant source of contamination of grapes, but the finished wine does not pose a risk.

Key words: heavy metals, ICP-MS, transport, grapevine, environmental contamination, Riesling, Blaufränkisch

Souhrn

Tato studie hodnotí vliv silniční dopravy na akumulaci těžkých kovů v hroznech, moštích a vínech dvou odrůd révy vinné (Ryzlink rýnský a Frankovka). Vzorke pocházely z vinice lokalizované 70 m od dálnice D2 (Velké Němčice) a byly porovnány s kontrolní vinicí v Popicích bez významné dopravní zátěže. Obsah prvků byl stanoven pomocí ICP-MS v jednotlivých fázích výroby vína. Výsledky ukazují signifikantně vyšší obsah Mn, Cu, Zn, Cr a Ba v hroznech vystavených vlivu dálnice. Technologie výroby vína, zejména odkalení, fermentace a čiření, však vedly k výrazné redukci koncentrací kovů. Finální vína vykazovala nízké obsahy prvků, nepřekračující toxikologická ani legislativní omezení. Studie potvrzuje, že doprava představuje významný zdroj kontaminace hroznů, avšak hotové víno riziko nepředstavuje.

Klíčová slova: těžké kovy, ICP-MS, doprava, réva vinná, environmentální kontaminace, Ryzlink rýnský, Frankovka

ÚVOD

Těžké kovy patří mezi dlouhodobě sledované environmentální kontaminanty s významnými dopady na lidské zdraví, stabilitu ekosystémů i kvalitu zemědělské produkce. Vyznačují se vysokou chemickou perzistencí, schopností bioakumulace a potenciální toxicitou již při nízkých koncentracích. Mezi nejproblematictější se řadí zejména olovo (Pb), kadmium (Cd), arsen (As), rtuť (Hg) a chrom (Cr), jejichž přítomnost v potravním řetězci představuje závažné zdravotní riziko /1/. Jejich zdroje v životním prostředí jsou různorodé a zahrnují jak přirozené geochemické procesy, tak i širokou škálu antropogenních činností, mezi něž patří průmyslové aktivity, spalovací procesy, těžba surovin, atmosférická depozice a zemědělské zásahy /2, 3/.

V agroekosystémech může k akumulaci těžkých kovů docházet zejména prostřednictvím půdy, která představuje klíčový rezervoár kontaminantů. Přítomnost kovů v půdě je ovlivněna její texturou, pH, obsahem organické hmoty a sorpční kapacitou. Tyto faktory určují dostupnost jednotlivých prvků pro rostliny, jejich mobilitu a následné transportní mechanismy v rostlinách /3/. V případě vinic se může akumulace těžkých kovů projevit nejen převzetím prvků kořenovým systémem, ale také usazováním prachových částic na nadzemních orgánech rostlin. Významnou roli zde hraje i používání agrochemikálií, zejména přípravků na bázi mědi (Cu), které jsou po desetiletí základním nástrojem ochrany proti houbovým chorobám a přispívají ke zvýšení koncentrací tohoto kovu v půdním profilu /4/.

Jedním z nejvýznamnějších antropogenních zdrojů kovů v zemědělské krajině je však silniční doprava, která je dlouhodobě identifikována jako hlavní producent kovových částic v atmosféře mimo průmyslové oblasti. Tyto částice vznikají několika mechanismy:

- **otěrem brzdových destiček**, které jsou hlavním zdrojem Cu, Zn, Sb a Ba /5/,
- **otěrem pneumatik**, zodpovědným především za uvolňování Zn, Cd a Pb /6/,
- **spalovacími procesy ve vznětových a zážehových motorech**, produkujícími Mn, Ni a Cr /7/,
- **zvedáním depozitů z povrchu vozovek**, které obsahují např. Ti, Sn a Pb /7/.

Dopravní emise se dostávají do prostředí převážně ve formě jemných suspendovaných částic (PM₁₀ a PM_{2.5}), které mají vysoký potenciál sedimentace na vegetaci. Množství kontaminace je přímo závislé na vzdálenosti od komunikace, intenzitě dopravy, povětrnostních podmínkách a topografii terénu. Řada studií potvrzuje, že koncentrace kovů s rostoucí vzdáleností od silnice exponenciálně klesají, přičemž nejkritičtější je pásmo do cca 100 metrů od frekventovaných komunikací /9, 10/.

Réva vinná (*Vitis vinifera* L.) je plodina, která může kumulovat těžké kovy jak prostřednictvím půdní absorpce, tak příjmem částic sedimentovaných na povrch listů a bobulí. Některé odrůdy vykazují vyšší afinitu k akumulaci kovů v nadzemních pletivech, což je předmětem současného výzkumu /11, 12, 13/. Akumulace kovů může mít význam nejen zdravotní, ale také technologický, protože některé prvky mohou ovlivňovat fermentační procesy, stabilitu vína či organoleptické vlastnosti. Z toxikologického hlediska jsou nejrizikovější zejména Pb, Cd, As a Cr /1/. Ve vinařském průmyslu jsou však pravidelně sledovány i další prvky, především Cu, Zn, Ni či Fe, které mohou negativně ovlivnit jakost vína. Oenologické předpisy Mezinárodní organizace pro víno a vinohradnictví /14/ proto definují limity pro vybrané prvky, aby byla zajištěna bezpečnost a senzorická stabilita výsledného produktu. Vzhledem k rostoucímu dopravnímu zatížení v blízkosti mnoha

vinohradnických oblastí je proto klíčové sledovat, do jaké míry se těžké kovy přenášejí do hroznů a následně do vína, a zda představují zdravotní riziko pro spotřebitele.

Cílem studie bylo zhodnotit vliv dopravní zátěže na obsah těžkých kovů v hroznech révy vinné, potažmo ve vyrobených vínech; **zmapovat změny koncentrací kovů** v jednotlivých fázích výroby vína, **porovnat rozdíly** mezi lokalitou u dálnice D2 a referenční vinicí a konečně zhodnotit rizika pro zdravotní nezávadnost výsledného vína.

MATERIÁL A METODY

Lokality a odběr vzorků

Odběr hroznů probíhal na dvou odlišných lokalitách na jižní Moravě v souladu s doporučenými protokoly pro reprezentativní sampling v révě vinné /15, 16/. Z každé lokality byly odebrány **kompozitní vzorky**, tvořené 20 dílčími odběry napříč vinohradem, což odpovídá přístupu používanému v monitorovacích studiích stopových prvků v produkčních oblastech /12/.

Lokalita A – Velké Němčice (dálnice D2)

Tato lokalita se nachází ve vzdálenosti **70 m od dálnice D2**, jedné z nejzatíženějších komunikací v regionu. Šlo o viniční trať Růženy na mírném JV svahu napravo hned vedle dálnice D2 (katastrální území Hustopeče; 48.9348514N, 16.7491433E, 230 m n. m). Dopravní zátěž byla vyhodnocena podle metodických rámců běžných ve studiích monitorujících emise těžkých kovů z dopravy /8, 10/. Půdní typ představují hlinito-jílovité zeminy s neutrálním pH. Odběr se týkal odrůd **Ryzlink rýnský** a **Frankovka**.

Lokalita B – Popice (kontrolní lokalita)

Kontrolní vinice je situována ve vzdálenosti **7,5 km od nejbližší významné komunikace** (vzdušnou čarou přes kopec) a slouží jako referenční stanoviště s minimálním vlivem antropogenních emisí z dopravy. Šlo o viniční trať Svidrunk v katastru obce Popice (opět JV svah, 48.9295847N, 16.6789967E, 225 m n. m). Agroenvironmentální podmínky (podnebí, expozice svahu, typ půdy) byly podobné jako na předešlé lokalitě, což odpovídá doporučením pro komparativní terénní studie /3, 8/.

Příprava vzorků

Vzorky hroznů byly ihned po odběru transportovány v chladicích boxech a zpracovány do 2 hodin od sklizně. Po odstranění mechanických nečistot byly bobule omyty deionizovanou vodou a následně homogenizovány v laboratorním mixéru podle protokolů uváděných v Aceto a kol. /12/. Z homogenátu byly připraveny podíly pro mineralizaci a pro analýzu moštu. Vzorky moštu a vína byly odebrány v jednotlivých technologických fázích – hrozny, mošt po odkalení, víno po fermentaci a finální víno – dle enologických postupů Mezinárodní organizace pro víno a vinohradnictví /17/.

Mineralizace vzorků

Pro přípravu vzorků k analýze stopových prvků byla použita **mikrovlnná mineralizace** ve směsi koncentrované kyseliny dusičné (HNO_3) a peroxidu vodíku (H_2O_2). Tento postup je široce uplatňován v pracích zabývajících se multielementární analýzou vína, moštů a rostlinného materiálu /12, 18/. Mineralizace probíhala v uzavřeném systému s řízenou teplotou 180 °C.

Stanovení prvků pomocí ICP-MS

Analýzy byly provedeny na přístroji Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) Agilent 8800 Triple Quadrupole, což je metoda doporučovaná OIV pro stanovení stopových kovů ve víně /19/. ICP-MS patří mezi nejcitlivější dostupné techniky pro multielementární analýzu potravin a nápojů /20/. Použité vnitřní standardy (Rh, In, Ir) byly voleny podle doporučení pro eliminaci matricových efektů při analýze komplexních potravinářských matric /20/. Spektra byla vyhodnocena s využitím *He collision cell mode* ke snížení interferencí, jak je popsáno v moderních enologických aplikacích ICP-MS /12/. Analyzované prvky zahrnovaly: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, Zn, což odpovídá panelu prvků doporučenému OIV i současným vědeckým studiím /11, 12, 14/.

Kontrola kvality analýzy

Pro zajištění kvality výsledků byly použity: certifikované referenční materiály (ERM-CA713 – „Trace elements in wine“), slepé vzorky, duplikátní měření, spike-recovery testy (obnova 92–108 %), což odpovídá intervalům uváděným v literatuře pro ICP-MS analýzy vín /18/. Limit detekce (LOD) a limit kvantifikace (LOQ) byly vypočteny podle metodiky tří- a desetinásobku směrodatné odchylky slepého měření /20/.

Statistické zpracování dat

Data byla statisticky vyhodnocena v programu R 4.2.2 /21/. Normalita datových souborů byla ověřena pomocí Shapiro–Wilkovy zkoušky a homogenita variancí pomocí Leveneho testu /22/. Pro porovnání koncentrací kovů mezi lokalitami a technologickými fázemi byl použit jednofaktorový ANOVA model.

VÝSLEDKY

Odkalení šťávy proběhlo ihned po vylisování hroznů zchlazením moštu (cca na 10 °C), sedimentací šťávy a její odkalení + stáče následující den; následovalo zakvašení této šťávy kvasinkami ASVK Freddo (Oenoferm Freddo F3 od firmy Erbsöh jsou chladnomilné kvasinky rodu *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*.) a po ukončení fermentace proběhlo opět měření; dále se víno stočilo, vyčeřilo (bentonit) a provedla se hrubá filtrace (deskový filtr) – opět měření. Výsledky měření ukazují tabulky 1 a 2.

Výsledky z tab.1 ukazují **jasný vliv dopravní zátěže** na vyšší obsah většiny kovů v hroznech z Lokace 1, a současně **výrazný pokles koncentrací kovů** v průběhu vinifikace u obou lokalit. Ve fázi **bobulí (moštu)** vykazují téměř všechny prvky **podstatně vyšší koncentrace u Lokace 1**, což odpovídá očekávanému vlivu dálnice jako zdroje kovů z otěrů brzd, pneumatik a resuspenze prachových částic.

Největší rozdíly se projevují u prvků typicky spojených s automobilovým provozem jako **Cr, Ba, Ti, Zn, Mn a Cu**. Koncentrace u Lokace 1 jsou přibližně **1,3–2,5× vyšší** než u Lokace 2. Např. u olova (Pb) je naměřeno **38,93 µg/kg vs. 19,99 µg/kg**, což je více než **dvojnásobek** u lokality zatížené dopravou. U toxických prvků **As a Cd** jsou rozdíly menší, ale stále patrné (cca 20–30 % vyšší u Lokace 1).

Výsledky dále jasně ukazují, že technologie výroby vína vede k **velmi výraznému snížení obsahu kovů**. Mechanismy zahrnují odkalení (sedimentace kalů), fermentaci (sorpcce na buněčné stěny kvasinek) a číření/filtraci. Při odkalení moštu docházelo u všech sledovaných prvků k prudkému poklesu:

- Ba klesá z ~2000 na ~190 µg/kg (pokles o **90 %**)

- Cr klesá z tisíců na ~10 µg/kg (pokles o >99 %)
- Zn: pokles z 3507 → 796 µg/kg (~77 %)
- Mn: pokles z 7001 → 500 µg/kg (~93 %)
- Cu: pokles z 4253 → 450 µg/kg (~89 %)

Pokles potvrzuje, že většina kovů je vázána na pevné částice (slupky, prachové depozity) a odstraňuje se snadno sedimentací.

Fermentace přináší další postupné snížení:

- Zn klesá z 796 → 598 µg/kg
- Mn z 500 → 470 µg/kg
- Cu z 450 → 26 µg/kg (velmi výrazný pokles díky vazbě na kvasinky)

Proces potvrdil známý trend, že některé kovy (Cu, Zn, Mn) jsou efektivně zachytávány kvasinkovými buňkami (kvasinkami).

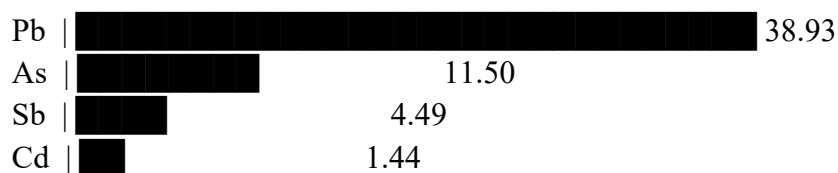
Ve finálních vínech po čiření a filtraci jsou koncentrace většiny kovů již velmi nízké a srovnatelné mezi oběma lokalitami. Rozdíly mezi lokalitami se tedy **dramaticky snižují** a jsou minimální. Výjimkou byl chrom u RR, kde došlo k mírnému navýšení, ale to se může stát díky kontaktu vína s **nerezovými nádobami**, které obsahují chrom jako legující prvek.

RYZLINK RÝNSKÝ

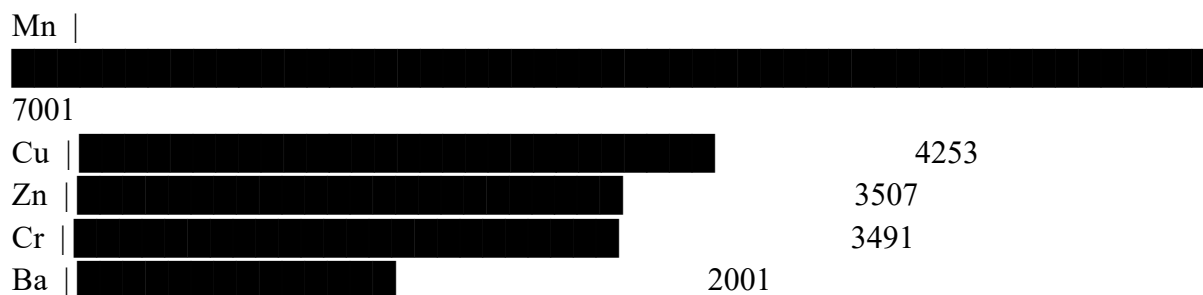
Tabulka 1: Souhrnné měření prvků u obou lokalit u odrůdy Ryzlink rýnský (µg.kg⁻¹)

	Bobule/mošt		Mošt po odkalení		Mladé víno po fermentaci		Víno po čiření a filtraci	
Prvek	Lokace 1	Lokace 2	Lokace 1	Lokace 2	Lokace 1	Lokace 2	Lokace 1	Lokace 2
As	11,50 ±0,21	9,35 ±0,20	4,19 ±0,31	3,89 ±0,25	2,20 ±0,15	1,91 ±0,9	1,15 ±0,22	1,11 ±0,24
Ba	2001,27 ±99,15	1214,71 ±79,64	193,11 ±15,11	101,29 ±14,01	199,25 ±12,05	105,16 ±12,01	100,97 ±4,97	98,99 ±3,33
Cd	1,44 ±0,02	1,22 ±0,02	0,25 ±0,03	0,19 ±0,01	0,18 ±0,01	0,15 ±0,01	0,19 ±0,01	0,15 ±0,01
Co	8,54 ±0,33	7,16 ±0,24	3,27 ±0,17	1,99 ±0,05	2,41 ±0,22	1,56 ±0,12	2,22 ±0,80	1,61 ±0,51
Cr	3490,50 ±99,51	2025,11 ±66,54	10,23 ±0,99	10,11 ±0,45	10,15 ±0,73	10,06 ±0,69	*10,25 ±1,11	*10,14 ±1,09
Cu	4252,51 ±105,64	3559,12 ±100,02	450,25 ±10,07	351,25 ±8,88	25,98 ±1,59	23,57 ±1,12	12,22 ±0,56	12,05 ±0,44
Mn	7001,28 ±145,57	6895,56 ±110,09	500,01 ±10,59	450,55 ±9,95	470,27 ±7,88	422,12 ±6,12	390,71 ±7,12	364,56 ±5,99
Ni	624,56 ±15,66	395,24 ±11,29	65,65 ±2,99	43,35 ±2,04	64,37 ±1,88	43,05 ±1,51	62,22 ±1,52	41,15 ±1,05
Pb	38,93 ±1,92	19,99 ±1,55	10,11 ±0,56	9,89 ±0,44	7,97 ±0,28	6,64 ±0,22	6,58 ±0,17	5,05 ±0,11
Sb	4,49 ±0,14	2,94 ±0,11	2,86 ±0,10	2,19 ±0,07	2,25 ±0,05	1,99 ±0,04	1,12 ±0,05	1,04 ±0,04
Sn	41,02 ±1,08	25,42 ±0,94	4,51 ±0,68	2,01 ±0,31	4,49 ±0,55	1,99 ±0,20	2,25 ±0,64	1,51 ±0,12
Ti	645,55 ±11,09	341,71 ±7,86	49,99 ±3,99	29,91 ±1,93	45,85 ±2,01	27,89 ±1,22	33,57 ±1,58	25,14 ±1,17
V	245,12 ±5,19	169,1 ±4,08	150,24 ±2,93	111,97 ±2,09	141,25 ±2,22	105,55 ±1,94	49,12 ±1,55	36,86 ±1,27
Zn	3507,02 ±89,88	2811,15 ±75,51	795,69 ±15,24	515,88 ±11,12	598,37 ±12,02	454,91 ±8,67	506,84 ±10,24	415,68 ±6,08

*Legenda: Lokace 1 – Hustopeče (Dálnice D2); Lokace 2 – Popice; *u Cr nárůst při finalizaci vína patrně díky kontaktu s nerezem (nerezové nádoby), kterých je Cr součástí*



Graf 1: Toxikologicky významné prvky (bobule/mošt – Lokace 1, v µg.kg⁻¹)



Graf 2: Prvky s nejvyšší koncentrací (bobule/mošt – Lokace 1, v µg.kg⁻¹)

Výsledky z tab.1 ukazují **jasný vliv dopravní zátěže** na vyšší obsah většiny kovů v hroznech z Lokace 1, a současně **výrazný pokles koncentrací kovů** v průběhu vinifikace u obou lokalit. Ve fázi **bobulí (moštu)** vykazují téměř všechny prvky **podstatně vyšší koncentrace u Lokace 1**, což odpovídá očekávanému vlivu dálnice jako zdroje kovů z otěrů brzd, pneumatik a resuspenze prachových částic.

Největší rozdíly se projevují u prvků typicky spojených s automobilovým provozem jako **Cr, Ba, Ti, Zn, Mn a Cu**. Koncentrace u Lokace 1 jsou přibližně **1,3–2,5× vyšší** než u Lokace 2. Např. u olova (Pb) je naměřeno **38,93 µg/kg vs. 19,99 µg/kg**, což je více než **dvojnásobek** u lokality zatížené dopravou. U toxických prvků **As a Cd** jsou rozdíly menší, ale stále patrné (cca 20–30 % vyšší u Lokace 1).

Výsledky dále jasně ukazují, že technologie výroby vína vede k **velmi výraznému snížení obsahu kovů**. Mechanismy zahrnují odkalení (sedimentace kalů), fermentaci (sorpcce na buněčné stěny kvasinek) a čiření/filtraci. Při odkalení moštu docházelo u všech sledovaných prvků k prudkému poklesu:

- Ba klesá z ~2000 na ~190 µg/kg (pokles o **90 %**)
- Cr klesá z tisíců na ~10 µg/kg (pokles o **>99 %**)
- Zn: pokles z 3507 → 796 µg/kg (**~77 %**)
- Mn: pokles z 7001 → 500 µg/kg (**~93 %**)
- Cu: pokles z 4253 → 450 µg/kg (**~89 %**)

Pokles potvrzuje, že většina kovů je vázána na pevné částice (slupky, prachové depozity) a odstraňuje se snadno sedimentací.

Fermentace přináší další postupné snížení:

- Zn klesá z 796 → 598 µg/kg
- Mn z 500 → 470 µg/kg
- Cu z 450 → 26 µg/kg (velmi výrazný pokles díky vazbě na kvasinky)

Proces potvrdil známý trend, že některé kovy (Cu, Zn, Mn) jsou efektivně zachytávány kvasinkovými buňkami (kvasinkami).

Ve finálních vínech po číření a filtraci jsou koncentrace většiny kovů již velmi nízké a srovnatelné mezi oběma lokalitami. Rozdíly mezi lokalitami se tedy **dramaticky snižují** a jsou minimální. Výjimkou byl chrom u RR, kde došlo k mírnému navýšení, ale to se může stát díky kontaktu vína s **nerezovými nádobami**, které obsahují chrom jako legující prvek.

Interpretace klíčových prvků

- Arsen (As) - mírně vyšší hodnoty v hroznech u Lokace 1 (~+20 %); postupně se snižuje až na ~1 µg/kg ve finálním víně a koncentrace byly hluboko pod legislativními limity.
- Baryum (Ba) - dosti výrazně vyšší v hroznech u Lokace 1 (2001 vs. 1215 µg/kg); ve vínech < 101 µg/kg, jde o typický marker dopravní zátěže (brzdové destičky).
- Chrom (Cr) - obrovský rozdíl v hroznech u sledovaných lokalit (3490 vs. 2025 µg/kg); po vinifikaci pokles na ~10 µg/kg.
- Měď (Cu) - vysoké hodnoty v hroznech, částečně i z fungicidů; ve finálním víně < 13 µg/kg (velmi nízké).
- Mangan (Mn) - podobně jako u mědi byly vyšší rozdíly u hroznů, ale výrazně menší ve víně; v konečném produktu pak ~380–360 µg/kg.
- Zinek (Zn) - ukazuje se, že jde o jednoznačný marker pneu a brzd; nicméně dochází ke značnému poklesu z hroznů do finálního vína; pokles z 3507 → 507 µg/kg.
- Olovo (Pb) – byly zaznamenány zhruba dvojnásobné hodnoty u Lokace 1 v hroznech; tradičně po fermentaci a filtraci 6,6 vs. 5,0 µg/kg – malý rozdíl, hodnoty nízké.

Vliv dopravy na obsah kovů v hroznech

Ve všech případech byly hodnoty těžkých kovů **vyšší u lokality D2** oproti referenční vinici. Nejvyšší koncentrace v hroznech byly naměřeny u:

- **Mn (až 7000 µg·kg⁻¹)** – spalování nafty, výfukové plyny
- **Cu (3500–4200 µg·kg⁻¹)** – výfukové plyny + rezidua postřiků
- **Zn (2800–3500 µg·kg⁻¹)** – otěry pneumatik a brzd
- **Cr a Ba** – mechanické otěry brzd a částic z vozovky

Zvýšené koncentrace Pb, Ni, Sn a Ti potvrdily přímý vliv dopravní zátěže. **Dopravní zátěž výrazně ovlivňuje koncentrace kovů v hroznech.** Největší rozdíly (1,5–3×) byly naměřeny u Mn, Zn, Cu, Ba, Cr, Pb.

Průběh koncentrací během výroby vína

U naprosté většiny prvků došlo k **výraznému poklesu koncentrací: odkalení moštu** - pokles o 40–70 %; **fermentace** - další pokles o 20–40 %; **číření (bentonit) a filtrace** - významná redukce prvků vázaných na částice (Ba, Zn, Mn). Finální víno vykazovalo **nízké a toxikologicky bezpečné hodnoty**. Výjimkou byl mírně zvýšený Cr, což může souviset s kontaktem vína s nerezovým zařízením.

Stejně jako u Ryzlinku rýnského vykazuje i odrůda Frankovka jednoznačný vliv dopravní zátěže na koncentrace kovů v hroznech. Lokace 1 (Hustopeče, 70 m od dálnice D2) má u většiny prvků **výrazně vyšší hodnoty** než kontrolní oblast Popice (Lokace 2). V průběhu vinifikace se však koncentrace kovů **výrazně snižují**, až se ve finálním víně obou lokalit přibližují. Hrozny z Lokace 1 mají u všech sledovaných prvků vyšší koncentrace než hrozny z kontrolní lokality. Největší rozdíly se projeví u kovů spojených s dopravními emisemi: **Cr, Ti, Ba, Zn, Mn, Cu, Ni** – rozdíly obvykle **1,3–2,0×**; **Pb** – 20,56 vs. 14,11 µg/kg (zvýšení o ~46 %) a **As** – mírně

vyšší rozdíl (13,2 vs. 12,5 $\mu\text{g/kg}$). Tento trend odpovídá výsledkům podobných studií, které potvrzují, že zátěž z dopravy je významným zdrojem prachových částic s obsahem kovů /5, 8, 9/. U prvků Cr, Ni a Ti je patrné, že Frankovka akumuluje vyšší hodnoty ve srovnání s Ryzlinkem, což může souviset s rozdíly ve struktuře slupky a vyšší afinitou červených odrůd k adsorpci kovů na povrch fenolických složek.

FRANKOVKA

Tabulka 2: Souhrnné měření prvků u obou lokalit u odrůdy Frankovka ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)

	Bobule/mošt		Mošt po odkalení		Mladé víno po fermentaci		Víno po číření a filtraci	
Prvek	Lokace1	Lokace2	Lokace1	Lokace2	Lokace1	Lokace2	Lokace1	Lokace2
As	13,22 $\pm 0,12$	12,54 $\pm 0,09$	5,21 $\pm 0,11$	4,16 $\pm 0,07$	2,51 $\pm 0,08$	2,11 $\pm 0,10$	1,19 $\pm 0,15$	1,15 $\pm 0,14$
Ba	1812,00 $\pm 50,02$	1321,16 $\pm 25,22$	145,22 $\pm 13,02$	99,59 $\pm 18,21$	133,25 $\pm 15,77$	97,68 $\pm 14,26$	109,99 $\pm 14,37$	94,25 $\pm 13,55$
Cd	0,65 $\pm 0,02$	0,60 $\pm 0,04$	0,21 $\pm 0,01$	0,18 $\pm 0,01$	0,17 $\pm 0,02$	0,12 $\pm 0,01$	0,15 $\pm 0,02$	0,10 $\pm 0,01$
Co	9,15 $\pm 0,31$	5,51 $\pm 0,25$	1,85 $\pm 0,11$	1,02 $\pm 0,09$	1,24 $\pm 0,10$	0,99 $\pm 0,09$	1,19 $\pm 0,09$	0,89 $\pm 0,08$
Cr	2059,22 $\pm 45,59$	1809,01 $\pm 40,18$	10,12 $\pm 0,22$	9,89 $\pm 0,21$	10,10 $\pm 0,21$	9,45 $\pm 0,20$	9,99 $\pm 0,20$	9,22 $\pm 0,21$
Cu	4122,67 $\pm 99,24$	3917,09 $\pm 91,99$	450,20 $\pm 11,12$	366,54 $\pm 9,19$	25,98 $\pm 10,02$	25,88 $\pm 10,00$	12,22 $\pm 0,55$	12,55 $\pm 0,41$
Mn	5568,44 $\pm 122,10$	5041,67 $\pm 111,55$	490,52 $\pm 10,93$	455,01 $\pm 9,89$	366,15 $\pm 7,75$	351,22 $\pm 6,52$	361,54 $\pm 7,80$	312,45 $\pm 6,12$
Ni	489,59 $\pm 12,89$	330,87 $\pm 10,06$	60,02 $\pm 2,12$	44,12 $\pm 1,55$	59,91 $\pm 2,15$	41,91 $\pm 1,45$	59,87 $\pm 2,01$	40,17 $\pm 1,22$
Pb	20,56 $\pm 0,51$	14,11 $\pm 0,44$	7,14 $\pm 0,29$	5,51 $\pm 0,22$	4,22 $\pm 0,15$	2,50 $\pm 0,10$	4,01 $\pm 0,11$	2,09 $\pm 0,09$
Sb	3,12 $\pm 0,19$	2,88 $\pm 0,16$	2,79 $\pm 0,11$	1,54 $\pm 0,07$	1,51 $\pm 0,05$	1,49 $\pm 0,05$	1,09 $\pm 0,03$	1,01 $\pm 0,04$
Sn	22,19 $\pm 0,55$	14,15 $\pm 0,51$	12,09 $\pm 0,32$	5,05 $\pm 0,40$	2,55 $\pm 0,25$	1,88 $\pm 0,20$	1,51 $\pm 0,11$	1,34 $\pm 0,10$
Ti	457,25 $\pm 11,21$	312,24 $\pm 7,55$	79,12 $\pm 5,24$	44,08 $\pm 2,33$	49,09 $\pm 1,15$	30,94 $\pm 1,24$	34,87 $\pm 1,10$	26,09 $\pm 1,01$
V	241,66 $\pm 5,28$	160,99 $\pm 4,99$	100,58 $\pm 2,25$	90,05 $\pm 1,97$	88,12 $\pm 2,12$	49,99 $\pm 1,88$	40,06 $\pm 1,19$	33,21 $\pm 1,18$
Zn	3304,54 $\pm 88,02$	2713,81 $\pm 71,54$	655,87 $\pm 15,09$	499,02 $\pm 10,11$	584,04 $\pm 12,19$	387,29 $\pm 8,95$	466,27 $\pm 10,02$	306,61 $\pm 6,55$

Legenda: Lokace 1 – Hustopeče (Dálnice D2); Lokace 2 – Popice



Graf 3: Toxikologicky významné prvky (bobule/mošt – Lokace 1, v $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Stejně jako u Ryzlinku dochází po odkalení k **velmi výraznému snížení koncentrací**, typicky o: **70–90 %** u Ba, Zn, Mn, Ti; **>90 %** u Cr (z tisíců $\mu\text{g/kg}$ $\rightarrow$ ~ 10 $\mu\text{g/kg}$); **~ 80 %** u Cu (z ~ 4000 $\rightarrow$ ~ 450 $\mu\text{g/kg}$). Odkalení odstranilo většinu kontaminace navázané na pevné částice (prach, slupky), což potvrzuje charakter kovů jako povrchového polutantu. Koncentrace kovů po odkalení jsou velmi podobné jako u Ryzlinku. Fermentace dále snižuje množství kovů: Cu

klesá výrazně ($450 \rightarrow 26 \mu\text{g/kg}$), což je typické pro jeho silnou vazbu na kvasinky; Mn, Zn, Ni se mírně snižují, obdobně jako u Ryzlinku; u Sn, Sb a Pb je patrný rovněž pokles, i když méně dramatický. Při finální úpravě vína se rozdíly mezi lokalitami dále zmenšují. U většiny prvků se koncentrace stabilizují na podobné úrovni jako u Ryzlinku. Na rozdíl od Ryzlinku zde není patrný mírný nárůst Cr ve finální fázi – koncentrace zůstává stabilní (cca $9\text{--}10 \mu\text{g/kg}$). To může souviset s odlišným technologickým postupem fermentace a zrání červeného vína.



Graf 4: Prvky s nejvyšší koncentrací (bobule/mošt – Lokace 1, v $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Interpretace klíčových prvků

- Arsen (As) - mírně vyšší hodnoty u Lokace 1 a výrazný pokles během vinifikace, konzistentní s předchozí odrůdou.
- Baryum (Ba) - velmi citlivý marker dopravní zátěže; po odkalení výrazný pokles na $\sim 110 \mu\text{g/kg}$ ve finálním víně.
- Kadmium (Cd) - Nízké hodnoty po celou dobu; ve finálním víně $< 0,15 \mu\text{g/kg}$ – zanedbatelné riziko.
- Chrom (Cr) - obrovský rozdíl mezi lokalitami u bobulí, ale po odkalení pokles na $\sim 10 \mu\text{g/kg}$. U Frankovky není patrný sekundární nárůst jako u Ryzlinku.
- Měď (Cu) - vysoké hodnoty v hroznech (patrně vlivem postřiků). Ve finálním víně kolem $12 \mu\text{g/kg}$ – nízká koncentrace.
- Mangan (Mn) - vysoké koncentrace v hroznech, typické pro půdní a prachovou depozici. Finální víno mělo $312\text{--}361 \mu\text{g/kg}$.
- Zinek (Zn) - silný marker dopravní zátěže – rozdíly až $1,5\times$ v bobulích. Ve víně cca 466 vs. $307 \mu\text{g/kg}$.
- Olovo (Pb) - zvýšená koncentrace v hroznech u Lokace 1, ale po fermentaci klesá. Finální víno mělo $4,01$ vs. $2,09 \mu\text{g/kg}$.

Srovnání s odrůdou Ryzlink rýnský

Ryzlink rýnský vykazoval obecně vyšší koncentrace kovů než Frankovka, pravděpodobně díky odlišné morfologii keře (vrásčitější listy lépe zachycují prachové částice). U Frankovky byl však zaznamenán vyšší obsah Cu v hroznech (citlivější k plísni révové $\rightarrow$ více měďnatých postřiků), ale nikoliv ve finálním víně. Podobná efektivita technologických kroků jen potvrzuje univerzálnost odstranění kovů vinifikací.

DISKUSE

Výsledky analýz jednoznačně ukazují, že hrozny z lokality vystavené **intenzivní dopravní zátěži (Lokace 1 – Hustopeče, 70 m od dálnice D2)** obsahují ve většině sledovaných prvků **významně vyšší koncentrace**, než tomu bylo u kontrolní lokality v Popicích (Lokace 2). Tento trend je v souladu s četnými studiemi, které potvrzují, že blízkost frekventovaných

komunikací vede k akumulaci kovů v prachových částicích a následně i v rostlinných pletivech /5, 8, 10/. Nejvýraznější odlišnosti byly zaznamenány u prvků přirozeně asociovaných s automobily – **Zn, Cu, Ba, Sb, Cr, Mn**, ale také u **Pb**, které tradičně slouží jako marker dopravní kontaminace.

Vliv dopravní zátěže na obsah kovů v hroznech u odrůdy Ryzlink rýnský

Koncentrace prvků v bobulích z Lokace 1 byly typicky **1,5–3× vyšší** než u referenční lokality, přičemž největší rozdíly byly zaznamenány u **Ba, Cr, Zn, Ti, Mn a Cu**. To je v souladu s jejich známými technickými zdroji:

- **Ba, Sb** – opotřebení brzdových obložení,
- **Zn** – otěr pneumatik,
- **Cr, Ni, Ti** – resuspenze částic z vozovky, kovové části automobilů,
- **Mn, Cu** – komponenty motorů, brzd a zároveň rezidua postřiků (u Cu).

U toxikologicky významných kovů (Pb, As, Cd) byl rovněž patrný zvýšený obsah u Lokace 1, přestože absolutní koncentrace byly relativně nízké. Tyto rozdíly jsou konzistentní s mechanismy atmosférické depozice popsanými v literatuře /6, 9/. Je pozoruhodné, že nejvyšší koncentrace se týkaly prvků, které mají omezenou mobilitu v rostlinách, což naznačuje, že významná část zjištěné kontaminace je způsobena **povrchovou depozicí** na slupkách hroznů, nikoli primární absorpcí kořenovým systémem. Tento jev byl již dříve popsán u jiných plodin vystavených silniční dopravě /9/.

Dynamika kovů během technologických kroků výroby vína

Velmi výrazné snížení koncentrací kovů po odkalení moštu a následně během fermentace potvrzuje, že enologické procesy představují **účinný mechanismus odstraňování stopových kovů**. Odkalení vedlo u řady prvků (Ba, Zn, Mn, Cr, Cu) k redukci o **70–95 %**, což odpovídá jejich vazbě na částice, které se usazují v podobě kalů. Tento trend je dobře známý a popsán v enologické literatuře /18/. Fermentace přinesla další snížení koncentrací, zejména u Cu, Zn a Mn, což lze přičíst sorpci na buněčné stěny kvasinek. Tento mechanismus potvrzují i data jiných autorů, kteří uvádějí vysokou afinitu kvasinek k vazbě přechodných kovů /12/. Konečně technologické kroky čiření a filtrace vedly k normalizaci obsahu kovů u obou lokalit, takže většina rozdílů pozorovaných v surovině se v konečném víně **výrazně minimalizovala nebo zcela vymizela**. Tento fakt je klíčový z hlediska konzumenta: přestože hrozny mohou být lokálně zatíženy emisemi dopravy, samotný výrobní proces dokáže kontaminaci účinně redukovat na nízké koncentrace. U chromu byl zaznamenán **mírný nárůst** v poslední fázi (z ~10,15 na ~10,25 µg/kg u Lokace 1; podobně u Lokace 2). Tento jev je dobře známý a souvisí s **kontaktem vína s nerezavějící ocelí**, která obsahuje chrom jako legující prvek. Literatura popisuje, že krátkodobý kontakt s nerezem může přispět k mírnému navýšení koncentrace Cr ve vínech, přičemž hodnoty zůstávají hluboko pod bezpečnostními limity. Technologické procesy měly velmi pozitivní efekt. Během odkalení se odstranila většina částic, které nesou kovy adsorbované na povrchu. Fermentace dále snížila koncentrace kovů díky sorpci na buněčné stěny kvasinek a následné sedimentaci /18/.

Vliv dopravy na vinice a výrobu vína

Výsledky potvrzují, že dopravní aktivita výrazně ovlivňuje množství kovů v hroznech. Cílené ukazatele – Zn, Cu, Mn, Ba a Cr – byly konzistentně v souladu s literaturou, která popisuje jejich původ ve zdrojích typických pro silniční dopravu 5, 9/. Ve finálních vínech nedošlo k překročení žádných limitů stanovených OIV /14, 17, 19/ ani hodnot nejčastěji

uváděných v evropských studiích. Například obsah Pb ve finálním víně (5–6,6 µg/kg) odpovídá běžným hodnotám pro evropská vína a je o řád nižší, než uváděla starší literatura před zákazem olovnatých benzínů. Z hlediska zdravotní nezávadnosti vína jsou hodnoty všech sledovaných prvků bezpečně pod kritickými limity pro chronický příjem /1/. Zjištěné hodnoty tak nepředstavují zdravotní riziko pro spotřebitele.

Tato studie potvrzuje, že:

1. **Dopravní infrastruktura významně ovlivňuje kvalitu hroznů**, zejména zvýšením povrchové kontaminace prachem obsahujícím kovové částice.
2. **Vinifikační procesy však tuto kontaminaci velmi účinně snižují**, a tím minimalizují rozdíly mezi lokalitami.
3. Pro monitoring prostředí je hroznový révy vhodným indikátorem dopravních emisí, avšak pro hodnocení kvality finálního vína je nutné počítat s výrazným útlumem koncentrací kovů během technologické výroby.

Z praktického hlediska to znamená, že vinohradníci v blízkosti komunikací by měli sledovat především stav půdy a povrchové depozice (prach), zatímco obavy o kvalitu výsledného vína jsou méně opodstatněné, pokud je dodržena standardní vinifikace.

*Vliv dopravní zátěže na obsah kovů v hroznech u odrůdy **Frankovka***

Výsledky analýzy stopových kovů u odrůdy Frankovka potvrzují výrazný vliv dopravní zátěže na chemickou kvalitu hroznů, obdobně jako u bílé odrůdy Ryzlink rýnský. Koncentrace většiny sledovaných kovů byly u lokality v blízkosti dálnice (Lokace 1 – Hustopeče) **systematicky vyšší** než u kontrolní lokality Popice (Lokace 2). Tato zjištění jsou v souladu s environmentálními studiemi dokumentujícími významný podíl brzdových a pneumatických otěrů, výfukových emisí a resuspenze prachových částic na celkovém vstupu kovů do agroekosystémů /5, 8, 9/. Frankovka vykazuje ve fázi bobulí výrazné rozdíly mezi lokalitami u prakticky všech kovů. Největší rozdíly byly pozorovány u **Cr, Ti, Zn, Ba, Mn, Ni a Cu**, tedy prvků úzce spojených s automobilovým provozem. Tento trend ukazuje na význam povrchové depozice aerosolu obsahujícího kovové částice, který se zachycuje na slupkách hroznů. Rozdíly jsou částečně vyšší než u Ryzlinku, což naznačuje, že **slupky Frankovky mohou lépe adsorbovat kovové částice** díky vyšší hustotě kutikuly a vyššímu obsahu fenolických látek, které zvyšují sorpční kapacitu. Z hlediska zdravotně rizikových prvků se výraznější rozdíly projevily u **Pb** (20,56 vs. 14,11 µg/kg), což je v souladu s tím, že olovo je jedním z hlavních markerů dopravních emisí, a to i v éře bezolovnatých paliv, díky přetrvávající resuspenzi historicky kontaminovaného prachu /6/. U **As a Cd** byly zaznamenány pouze mírné rozdíly, což odpovídá jejich nižší vazbě na atmosférickou depozici a spíše půdnímu původu.

Účinek vinifikačních technologií

Podobně jako u Ryzlinku dochází v průběhu výroby vína k **velmi výrazné redukci obsahu kovů**, což potvrzuje, že většina kontaminace je vázána na pevné částice, sedimenty a slupky. Při odkalení moštu bylo odstraněno 70–95 % většiny kovů, zejména **Zn, Mn, Ba, Ti, Cu**, ale také toxikologicky významný **Pb**. Pokles obsahu Cr z tisícových hodnot na ~10 µg/kg potvrzuje, že vysoké koncentrace v bobulích byly způsobeny převážně povrchovou depozicí. Také samotná fermentace vedla k další redukci kovů, zejména mědi (Cu), která vykazuje vysokou afinitu k buněčným stěnám kvasinek. Tento trend popisují i enologické studie zabývající se dynamikou kovů během fermentace /12, 18/. Finální úprava vína (čiření a filtrace) snižuje obsah kovů na nízké a relativně stabilní hodnoty. Rozdíly mezi lokalitami se v této fázi

významně zmenšují – u většiny prvků zůstávají odlišnosti pouze mírné (např. Zn, Mn, Pb). Podobnost výsledných vín obou lokalit potvrzuje, že vinifikační technologie **efektivně odstraňují metalické kontaminanty**, bez ohledu na jejich původní množství v hroznech. Na rozdíl od Ryzlinku nebyl u Frankovky pozorován **sekundární nárůst chromu** ve finální fázi, což může souviset s jinou délkou nebo intenzitou kontaktu vína s nerezovými nádobami. Chrom je běžným legujícím prvkem jejich povrchu a u některých vín může mírně narůstat.

Toxicologická a legislativní relevance

Všechny hodnoty kovů ve finálním víně byly **hluboko pod limity OIV /14, 17, 19/** a nepředstavují žádné zdravotní riziko podle hodnot tolerovatelného příjmu stanovených EFSA /1/. Dokonce i kov Pb, který je často problematický, dosahoval ve finální fázi pouze 4,01 µg/kg u Lokace 1 a 2,09 µg/kg u Lokace 2, což jsou hodnoty srovnatelné s evropskými standardy. Je tedy evidentní, že **dopravní kontaminace ovlivňuje kvalitu hroznů, nikoli však významně kvalitu výsledného vína**.

Porovnání Frankovky s odrůdou Ryzlink rýnský

Frankovka vykazovala obecně **vyšší koncentrace kovů v hroznech**, ale také **podobnou efektivitu snížení kovů během vinifikace, nižší variabilitu Cr ve finální fázi a vyšší sorpční schopnost slupky**, což může zesilovat dopad atmosférické depozice. Tyto rozdíly souvisejí s odlišnou morfologií hroznů, fenolickým složením a technologickými postupy používanými při výrobě červeného vína. Odrůda Frankovka tak může sloužit jako **citlivý bioindikátor atmosférické depozice kovů**, avšak neznamena to zvýšené riziko pro konzumenty vína.

ZÁVĚR

Tato studie hodnotila obsah vybraných těžkých kovů v hroznech, moštích a vínech dvou odrůd révy vinné (Ryzlink rýnský a Frankovka) pěstovaných ve dvou lokalitách s odlišnou mírou dopravní zátěže. Naměřené výsledky jednoznačně potvrzují, že **blízkost frekventované silniční komunikace (dálnice D2)** významně ovlivňuje koncentrace kovů v hroznech, zejména u prvků spojených s dopravními emisemi a abrazivními procesy (Cr, Ba, Zn, Ti, Mn, Cu, Ni). U obou odrůd byly koncentrace kovů v hroznech z lokality v blízkosti dálnice **jednoznačně vyšší** než v kontrolní oblasti Popice.

Významným zjištěním je však skutečnost, že ačkoli hrozny mohou nést stopově zvýšené množství kovů pocházejících z atmosférické depozice a prachových částic, **běžné vinifikační postupy vedou k jejich velmi účinnému odstranění**. Největší snížení bylo zaznamenáno během:

1. **odkaldení moštu**, které eliminovalo 70–95 % většiny kovů navázaných na pevné částice,
2. **alkoholové fermentace**, během níž dochází k sorpci kovů na kvasinky,
3. **čištění a filtrace**, které dále stabilizují nízké koncentrace ve finálním víně.

Ve výsledném víně tak byly koncentrace všech sledovaných prvků **nízké, stabilní a prakticky srovnatelné mezi oběma lokalitami**. To platí i pro toxikologicky významné prvky, jako je Pb, Cd, As a Cr. Naměřené hodnoty se pohybovaly hluboko pod limity stanovenými Mezinárodní organizací pro vinohradnictví a víno (OIV) a nepředstavují žádné zdravotní riziko pro konzumenty.

Odrůdy se mezi sebou lišily zejména v akumulčních vlastnostech:

- **Frankovka** vykazovala obecně vyšší koncentrace kovů ve fázi bobulí, což lze přičíst odlišné morfologii hroznů a vyššímu obsahu fenolických sloučenin schopných vázat kovy.

- **Ryzlink rýnský** měl mírně nižší adsorpci povrchových kontaminantů, ale ve finální fázi vína se rozdíly mezi odrůdami prakticky setřely.

Výsledky studie také ukázaly, že **vinifikační proces představuje velmi efektivní bariéru před přenosem kontaminantů z hroznů do vína**. To má zásadní význam z hlediska kvality i bezpečnosti potravin – i v případě zvýšeného environmentálního vstupu kovů do hroznů je výsledný produkt z hlediska obsahu kovů bezpečný.

Z praktického hlediska lze konstatovat, že:

- vinice v blízkosti dopravních koridorů mohou sloužit jako **bioindikátory atmosférické kontaminace**,
- zvýšené obsahové hodnoty kovů se však **nepromítají do finální senzorické ani zdravotní kvality vína**,
- technologické kroky (odkalení, fermentace, filtrace) mají zásadní význam pro eliminaci kovů z moštu a vína,
- červené odrůdy mohou být citlivější k povrchové adsorpci kovů, ale celkový vliv na víno je minimální.

Celkově lze uzavřít, že ačkoli dopravní zátěž jasně ovlivňuje chemické složení hroznů, **konečný vliv na složení a bezpečnost vína je zanedbatelný**. Vinifikace funguje jako účinný purifikační proces, který snižuje environmentální kontaminaci na velmi nízké hodnoty. Studie tak potvrzuje, že produkce vína v blízkosti dopravních komunikací je bezpečná, pokud jsou dodrženy standardní technologické postupy.

LITERATURA

- /1/ EFSA. (2010). EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Lead in food. EFSA Journal, 8(4), 1570.
- /2/ Adriano, D. C. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York.
- /3/ Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. CRC Press, Boca Raton.
- /4/ Komárek, M., Čadková, E., Chrástný, V., Bordas, F., Bollinger, J.-C. (2010). Lead contamination of vineyard soils: A review. Environmental International, 36(1), 138–151.
- /5/ Grigoratos, T., Martini, G. (2015). Brake wear particle emissions: a review. Environmental Science and Pollution Research, 22, 2491–2504.
- /6/ Councell, T. B., Duckenfield, K. U., Landa, E. R., Callender, E. (2004). Tire-wear particles as a source of zinc to the environment. Environmental Science & Technology, 38(15), 4206–4214.
- /7/ Thorpe, A. & Harrison, R. M. (2008). Sources and properties of non-exhaust particulate matter emissions from road traffic. Science of the Total Environment, 400(1–3), 270–282.
- /8/ Werkenthin, M., Weyer, B., Bolduan, V. (2014). Metals in European roadside soils and soil solution – A review. Environmental Pollution, 189, 98–110.
- /9/ Amato, F., Cassee, F. R., Denier van der Gon, H. A. C., Gehrig, R., Gustafsson, M., Hafner, W., Harrison, R. M., Jozwicka, M., Kelly, F. J., Moreno, T., Prevot, A. S. H., Schaap, M., Sunyer, J., Querol, X. (2014). Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions. Journal of Hazardous Materials, 275, 31–36.
- /10/ Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzone, D. & Violante, P. (2003). Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). Environmental Pollution, 124(2), 247–256.
- /11/ Hao, X., Gao, F., Wu, H., Song, Y., Zhang, L., Li, H., Wang, H. (2021). From soil to grape and wine: Geographical variations in elemental profiles in different Chinese regions. Foods, 10(12), 3108.
- /12/ Aceto, M., Robotti, E., Oddone, M., Baldizzone, M., Bonifacino, G., Bezzo, G., Di Stefano, R., Gosetti, F., Mazzucco, E., Manfredi, M. (2013). A traceability study on the Moscato wine chain. Food Chemistry, 138(2–3), 1914–1922.
- /13/ Cellier, R. et al. (2022). Stability of major and trace element concentrations from must to Champagne during the winemaking process. OENO One, 56(1).
- /14/ OIV. (2020). Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin.

- /15/ OIV. (2019). International Code of Oenological Practices. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin.
- /16/ ISO 10381-1. (2002). Soil quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.
- /17/ OIV-MA-AS1-201. (2015). Determination of Copper in Wine. OIV Official Method.
- /18/ Catarino, S., Curvelo-Garcia, A. S., Bruno de Sousa, R. (2008). Contaminant elements in wines: A review. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 23(1), 3–19.
- /19/ OIV-MA-AS322-07B. (2020). Determination of Lead in Wine by ICP-MS. OIV Official Method.
- /20/ Taylor, A., Day, M. P., Marshall, J., Patriarca, M., White, M. (2015). Atomic spectrometry update: review of advances in the analysis of clinical and biological materials, foods and beverages. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 30(4), 542–579.
- /21/ R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- /22/ Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 4th ed. Sage Publications.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

SROVNÁNÍ HLAVNÍCH PARAMETRŮ UVOLOGICKÝCH, ANALYTICKÝCH A MORTALITY RÉVOVÝCH KEŘŮ ODRŮD HIBERNAL A CERASON NAŠTĚPOVANÝCH NA NĚKOLIKA PODNOŽÍCH BĚHEM 16 LET

COMPARISON OF THE MAIN PARAMETERS OF UVOLOGY, ANALYTICS AND MORTALITY OF VITIS VINIFERA CV. HIBERNAL AND CERASON GRAFTED ON SEVERAL ROOTSTOCKS OVER 16 YEARS

Radek Sotolář¹, Lubomír Lampíř², Oldřiška Sotolářová¹, Richard Danko¹

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství,
Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních
zdrojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, lampir@af.czu.cz

Summary

The study was focused on evaluating the influence of the tested rootstocks on two PIWI varieties using basic analytical and uvological parameters in the Lednice location between 2008-2023. The mortality of vine plants was also monitored. The highest mortality was shown by plants grown with true roots and variants with Amos rootstock in both monitored varieties. A very decent yield with higher sugar content and higher acids in the grapes was shown in particular by the Kober 125AA rootstock in the given location, in both tested PIWI varieties. For a given location, rootstocks with more vigorous growth can be clearly recommended, especially the proven Kober 125AA, 5BB and CR2. The newer rootstock variety Börner also performed positively.

Key words: Analytical parameters, Uvology, Mortality, Rootstock, Yield

Souhrn

Studie byla zaměřena na hodnocení vlivu testovaných podnoží na dvou PIWI odrůdách pomocí základních analytických a uvologických parametrů v lokalitě Lednice mezi léty 2008-2023. Dále byla sledována i úmrtnost révových rostlin. Nejvyšší mortalitu vykazovaly rostliny pěstované pravokořenně a dále varianty s podnoží Amos u obou sledovaných odrůd. Velmi slušný výnos při vyšší cukernatosti i vyšších kyselinách v hroznech vykazovala na dané lokalitě zejména podnož Kober 125AA a to u obou testovaných PIWI odrůd. Pro danou lokalitu tak lze jednoznačně doporučit zejména podnože s bujnějším růstem, zejména osvědčené Kobery 125AA, 5BB a CR2. Pozitivně vycházela i novější podnožová odrůda Börner.

Klíčová slova: Analytické parametry, Uvologie (parametry ovlivňující výnos), Podnože, Úmrtnost, Výnos

ÚVOD

Každá lokalita, kde dokáže růst réva je svým způsobem jedinečná, neboť má své neopakovatelné terroir, rozlišené pouze jednotlivými ročníky/1/. Na révu zde působí několik faktorů, které někteří autoři dělí na trvalé (topografie, struktura a úrodnost půdy, hladina spodní vody, makroklima, aj.) a proměnlivé (podnožová a naštěpovaná odrůda, pěstitelský tvar, agrotechnická opatření, mikroklima, aj.). Hlavní součásti terroir jsou zejména: půdní druh a typ (pH, obsah živin, prostupnost vody, aj.), lokální klima (srážky, sumy aktivních a efektivních teplot, atd.), geologické podloží (půdní profil, horizonty, odvodnění), lokalita (svažitost, orientace svět. stran, směr větru, blízkost vodních zdrojů), nadmořská výška (opt. teploty, počet slunečních dnů, nástupy fenofází, aromatika a vyzrálост), management prací ve vinici (vedení, spon, směr řad, zelené práce, způsob sklizně, aj.), tradice pěstování a lidský faktor (tradiční odrůdy, jejich klony, stáří vinice, způsob vinifikace a styl vína)/2/. Výraz terroir tedy vyjadřuje souhrn všech faktorů působících na danou vinici a každá z vinic je těmito faktory unikátní a podaří-li se je vinařům promítnout do vína, pak hovoříme o terroir. Tzn. že vína z takového území (např. vinařské tratě) mohou být jedinečná i v rámci té samé oblasti. Francouzští vinaři věří, že místo produkce (tj. sama vinice) je ještě důležitější než pěstovaná odrůda anebo výrobce/3/. Nicméně i léty prověřené vinice (lokality) zažívají během staletí různé změny (proměnlivé faktory) jako atak různých chorob a škůdců, změna stylu vedení a sponů, různé požadavky na výnos, s tím souvisí i volba odrůd, aj. Zásadní změnou v minulém století bylo zavedení podnožových odrůd do kultivace, jako odpověď na zavlečení révokazové mšičky do evropských vinic /4, 5, 6/. V současnosti používané podnožové odrůdy již mají celou řadu pozitivních vlastností umožňující růst naštěpovaným odrůdám i v podmínkách, kde by to bylo kdysi, když se réva množila jen pravokořenně (dřevité řízky nebo hřížení) velmi obtížné či nemožné. Mezi hlavní pozitiva podnoží patří odolnost k révokazu, schopnost kvalitního prokořnění a růstu v daných podmínkách, tolerance k suchu či jarnímu podmáčení, omezení vlivu pH půdy, ovlivnění růstové intenzity naštěpované odrůdy, ovlivnění zrání hroznů a vyzrálости réví a ovlivnění plodnosti naštěpované odrůdy/7/. Slouží tedy zejména k přizpůsobení naštěpované odrůdy k podmínkám místního klimatu a specifickým půdním podmínkám/8/. Bez moderních podnoží se současné vinohradnictví již neobejde. I proto vznikají neustále nové podnožové odrůdy (nebo klony těch stávajících), nicméně je třeba jejich vlastnosti neustále ověřovat a zlepšovat, v souvislosti s neustále se měnícími faktory daného stanoviště. V České republice jde zejména o mírnější teploty v zimních měsících, umožňující ranější nástup révy do jednotlivých fenofází a dřívější zrání odrůd, ovšem s vyššími teplotami během léta a nedostatkem srážek ve vegetačním období, což vede k zvýšeným stresovým reakcím rostlin/9/. V důsledku omezení fotosyntézy dochází k omezení růstu rostlin a snižování výnosů a kvalitativních parametrů hroznů /10/. I tyto problémy by mohly pomoci řešit moderní podnožové odrůdy. Ty musí mít hlubší kořenový systém + bujnější růst, což omezí nedostatek vody a dostatek listové plochy chrání listy před možným úpalem. Spolu s dobrou agrotechnikou (zbytečně neodlišťovat, vhodné ozeleňovací směsi do meziřadí i příkmenných pásů, závlaha) jde o nejrychlejší adaptaci na současné podmínky/11/.

Studie se zabývá vlivem podnožových odrůd na hlavní kvalitativní parametry naštěpovaných odrůd na dané lokalitě po dobu 16 let, kde dále sleduje úmrtnost jednotlivých rostlin daných variant (na různých podnožích), vyvolanou pH půdy a klimatickou změnou.

MATERIÁL A METODY

Popis pokusné vinice a použitých odrůd

Pokus proběhl na experimentální vinici MENDELU (trať Na Valtické: 48.788380N, 16.796148E, 173 m n. m.). Průměrná roční teplota v této lokalitě je 9,5 °C a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 516,6 mm. Ovšem během vegetačního období révy (březen-říjen) a zejména v letních měsících (červenec-srpen) spadne minimum srážek a odpolední teploty vystupují přes 30 °C (Meteo stanice Mendelea), což ukazuje na velmi suchou lokalitu. Půda je hlinitopísčité s podílem 20–24 % jílovitých částic. Analýza půdy (v hloubce 30 cm) ukázala následující parametry: pH 7,5; Nmin 18,2 mg · kg⁻¹; P 51,7 mg · kg⁻¹; K 266,8 mg · kg⁻¹; Ca 6687 mg · kg⁻¹ (duben 2021). Obsah vápníku je vskutku vysoký (vápenité podloží - spraš), což spolu s horkým a suchým létem vyvolává a zvyšuje stresové prostředí na révové keře. Výsadba byla uskutečněna v roce 2004 ve sponu 2,20 m × 0,9 m. Vedení je standardní rýnsko-hesenské s horizontálně vyvázanými tažni (jeden kmínek/jedna tažeň). Pokusné řádky jsou obhospodařovány v rámci ekologického režimu (IP).

K pokusu byly vybrány 2 PIWI (interspecifické) moštové pozdně zrající odrůdy (v říjnu), bílá Hibernál a modrá Cerason (obě registrované v ČR). **Hibernál** (*Chancellor x Ryzlink rýnský*) je původem německá odrůda s bujnějším růstem a dobrou plodností, se zvýšenou odolností k houbovým chorobám. **Cerason** (*Merlan x Fratava*) je česká odrůda jejíž šlechtění probíhalo i v Lednici. Jedná se také o bujnější rostoucí odrůdu s vyšší plodností a zvýšenou odolností k houbovým chorobám/12/. Obě nařezované na 7 podnožích: Amos, SO4, Crâciune2, Börner, Kober 5BB, Kober 125AA, Teleki 5C + varianta pravokořená (přemnoženo dřevitými řízků). **Amos** (*Severnyj x Schwarzwann*) je česká podnožová odrůda určená do lehčích písčitohlinitých až štěrkovitých půd s nižším podílem aktivního vápníku v půdě, suchu odolává krátkodobě. Podporuje plodnost a zpočátku i bujnější růst, který se postupem času dosti tlumí /4, 6, 10, 13/. **SO4** (selekce z *Teleki 4*) je německá podnožová odrůda do hlinitých až písčitohlinitých půd s dostatkem vody (nesnáší dlouhodobé sucho), snáší vápník v půdě. Dosti podporuje plodnost a středně bujný růst/4, 13/. **CR2** (selekce z *Kober 5BB*) je rumunská podnožová odrůda jejíž vzdornost k suchu i vápníku v půdě je vyšší než u odrůdy 5BB a používá se do sušších písčitých až štěrkovitých půd. Podporuje bujnější růst i dobrou plodnost /4, 10, 13/. **Börner** (*V. riparia 183G x V. cinerea Arnold*) je německá podnožová odrůda nenáročná na půdy s dobrou suchovzdorností. Snáší vápník v půdě a podporuje dosti bujný růst/4, 6/. **5BB** (*V. berlandieri x V. riparia*) je starší rakousko-uherská podnožová odrůda, která po selekci původního materiálu poměrně dobře odolává suchu i vápníku v půdě (má hlubší kořenový systém). Rychlost růstu a produkce hmoty je za optimálních půdních podmínek velmi vysoká (až na úkor plodnosti), proto se tato podnož spíše využívá do chudších sušších písčitých či kamenitých půd, které brzdí její růst /6/. **125AA** (*V. berlandieri x V. riparia*) je starší rakousko-uherská podnožová odrůda, která má také bujnější růst, není náročná na půdy (včetně těžších půd) a snáší i vápník v půdě /4, 6, 10/. **T 5C** (*V. berlandieri x V. riparia*) je starší maďarská podnožová odrůda tlumící plodnost nařezovaných odrůd, má jen střední růst. Je doporučována spíše do hlinitějších půd, vápník v půdě snáší /4, 6, 10/. Všechny varianty měly 50 ks rostlin šachovnicově vysázených ve 3 řadách.

Sledované parametry

Sledováno bylo 8 základních parametrů, které byly vyhodnoceny vždy po 5 ti letech. Konkrétně průměrná hmotnost hroznu (g), hmotnost jedné bobule (g) a výnos (t/ha) z hodnot

uvologických; průměrná cukernatost hroznů (°NM), množství celkových kyselin (titr. g/l), pH a množství asimilovatelného dusíku (mg/l) z hodnot analytických; a nakonec byla sledována i úmrtnost (% smrtlost) jednotlivých keřů.

Použité přístrojové vybavení pro analytická a uvologická měření

Pro analytická data byla využito spektrometru Brucker Alpha II. Pro ověření výsledků byl celkový obsah kyselin v moštu stanoven i klasicky titračně/14/. Pro určení cukernatosti přímo ve vinici byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity závěsné digitální váhy a laboratorní digitální váhy značky Kern. Veškeré sběry i vyhodnocení dat byla prováděna vždy první týden v měsíci říjnu daného roku.

Stručná charakteristika sledovaných ročníků

2008 (deštivý ročník): Průběh počasí způsobil značné problémy při ochraně vůči houbovým chorobám, kdy byly zajištěny ideální podmínky k jejich šíření. Vlivem těchto chorob došlo k poměrně výrazné redukci sklizně. Časný nástup rašení byl zastaven nižšími teplotami v dubnu, květen a červen byl značně suchý, červenec a srpen přinesl deště (nástup houbových chorob), září opět značně deštivé. Cukernatost byla nižší (průměrně 19,7°NM) a kyseliny byly vyšší/15/.

2013 (deštivý ročník): Nástup rašení byl zpožděný koncem dubna, celý květen mohutné srážky, léto velmi horké beze srážek, sprchle malé bobule chytaly úpal, útočilo padlí i peronospora. Podzim (září) opět deštivý. Cukernatost byla nižší (průměrně 18,5°NM) a kyseliny byly vyšší/15/.

2018 (horký ročník): Sklizeň byla nižší, neboť velkým vedrem po celé léto téměř beze srážek způsobilo sesychání a vadnutí bobulí a opad 3/4 listové plochy (cukr stoupal výparem); hrozny měly hnědé bobule a víno varné tóny. Červená vína byla obzvlášť pěkná /15/.

2023 (botrytický ročník): Jaro bylo deštivé, žel i v době květu révy (sprchávání), léto naopak horké a bez deště, podzim ale zase poměrně deštivý. U pozdních odrůd se často tvořily ciběby/15/.

Statistické vyhodnocení

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byly použity základní statistické metody, jako je ANOVA a Tukeyho test, včetně novější PCA metody (Principal component analysis). Vícerozměrné metody umožňují znázornit a popsat vícerozměrná data, zjišťovat vztahy mezi jednotlivými proměnnými vs danými subjekty; a projekce sledovaných proměnných do faktorové roviny udává také vzájemnou možnou závislost mezi sledovanými proměnnými (komponenty). Ke zpracování vícerozměrných dat byl použit program Statistika14.

VÝSLEDKY

Průměrné hodnoty hlavních sledovaných parametrů u obou odrůd s 8 variantami ukazují tab.1 a 2.

Z výsledků je patrný vliv ročníků, zejména obsah cukernatosti a kyselin v hroznech (např. extrémně teplý ročník 2018 s vysokou cukernatostí), kde tyto parametry ovlivňuje zase množství hroznů na keři, hmotnost bobulí a samotných hroznů, tj. výnos. Zpočátku plodnosti nedosahovaly hmotnosti hroznů svého optima a vyšší plodnost se dosahovala i na podnožích

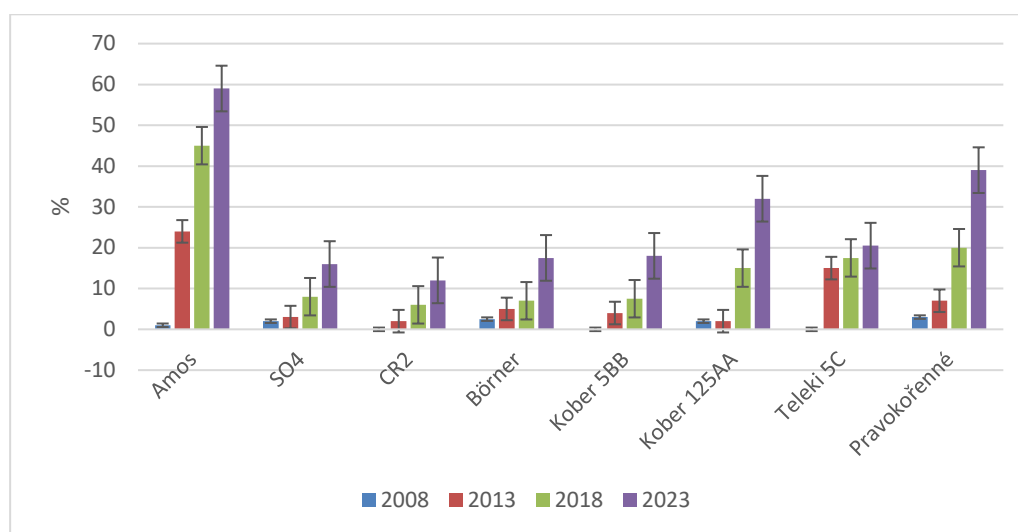
méně bujně rostoucích jako je SO4, T 5C a Amos (zejména v deštivějších letech). Postupem času ale dominují bujněji rostoucí podnože, zejména Kober 125AA, CR2, Kober 5BB a Börner.

Tabulka 1: Uvologické charakteristiky u odrůdy Hibernál od 4 roku po výsadbě, vyhodnocené vždy po 5 letech

Roky/podnože	Sledované parametry							
	Hmotnost hroznu (g)	Hmotnost bobule (g)	Výnos (t/ha)	Cukernatost (°NM)	Obsah kyselin (g/l)	Asimil. dusík (mg/l)	pH	Úmrtnost (%)
2008								
Amos	125,75	1,45	11,04	22,4	8,36	155,36	3,35	1
SO 4	155,55	1,69	11,50	23,1	8,20	121,87	3,41	2
CR 2	139,79	1,77	11,91	21,9	8,93	139,59	3,49	0
Börner	141,10	1,81	10,99	21,8	9,03	185,21	3,44	2,5
5 BB	148,33	1,70	11,91	21,8	8,35	183,25	3,33	0
125 AA	142,66	1,76	11,49	22,4	8,97	177,89	3,42	2
T 5C	137,70	1,60	11,25	22,7	8,63	126,65	3,41	0
Pravokořenně	126,66	1,62	10,89	22,7	8,66	128,58	3,40	3
2013								
Amos	245,01	1,41	12,22	21,7	11,02	171,05	3,01	24
SO 4	210,47	1,73	12,61	20,8	10,23	143,31	3,00	3
CR 2	241,13	1,61	12,29	20,3	12,08	249,63	3,04	2
Börner	222,98	1,58	11,33	21,3	11,88	209,57	2,92	5
5 BB	215,19	1,55	12,29	21,2	11,27	172,59	2,94	4
125 AA	211,05	1,67	12,66	22,4	12,57	201,86	2,96	2
T 5C	216,84	1,63	11,54	21,2	12,38	203,34	2,98	15
Pravokořenně	197,99	1,45	10,01	22,6	10,01	142,66	2,99	7
2018								
Amos	196,6	1,29	10,18	23,4	8,58	128,36	3,11	45
SO 4	183,08	1,22	10,15	23,8	9,38	197,38	3,17	8
CR 2	212,87	1,08	10,45	21,7	10,63	241,43	3,12	6
Börner	209,78	1,26	10,32	22,6	9,08	117,96	3,08	7
5 BB	193,90	1,24	10,19	23,4	9,63	135,98	3,09	7,5
125 AA	177,5	1,35	10,43	24,2	10,01	184,49	3,10	15
T 5C	169,51	1,32	8,99	23,5	9,93	158,08	3,10	17,5
Pravokořenně	170,02	1,26	9,11	23,1	8,08	133,34	3,05	20
2023								
Amos	251,35	1,51	10,89	22,6	8,44	188,70	3,11	59
SO 4	241,73	1,62	10,18	21,7	9,74	189,12	2,96	16
CR 2	284,31	1,82	10,95	21,1	8,51	207,33	3,07	12
Börner	274,63	1,85	10,74	20,9	9,14	203,17	2,91	17,5
5 BB	235,32	1,91	10,68	21,6	9,99	222,14	2,93	18
125 AA	214,71	1,95	11,04	21,8	9,89	231,25	2,97	32
T 5C	200,29	1,72	9,46	21,7	8,59	227,51	3,06	20,5
Pravokořenně	128,68	1,66	8,25	22,4	7,55	182,11	3,09	39

Úmrtnost keřů byla prvních 5 let v normě (do 3 %), v následujících letech ale u některých variant došlo k výraznějším úhynům, které byly způsobeny patrně celou řadou faktorů, zejména vhodností pro dané půdní podmínky a lokálními klimatickými podmínkami vyvolávající v rostlinách nadměrný stres a takto oslabené keře byly snadněji napadány houbovými chorobami. Z houbových chorob se nejčastěji objevovala chronická Esca a Eutypové odumírání révy (houby napadající dřevní hmotu – GTD). Příznaky zahrnovaly slabší růst, chlorózu listů, tmavé skvrny na dřevních částech keře, náhlé vadnutí a usychání bobulí, následně i celých keřů. Nejvyšší úmrtnost byla zaznamenána u rostlin naštěpovaných na podnoži Amos (59 % a lineární

trend mortality, přičemž největší výpadky byly již od roku 2013 a 2018); dále u rostlin pravokořenně množených (výrazný nástup až od roku 2023) a u rostlin na podnoži Kober 125 AA (větší výpadky až od roku 2018 a zejména 2023).



Graf 1: Úmrtnost sledovaných keřů během let u odrůdy Hibernál (v %)

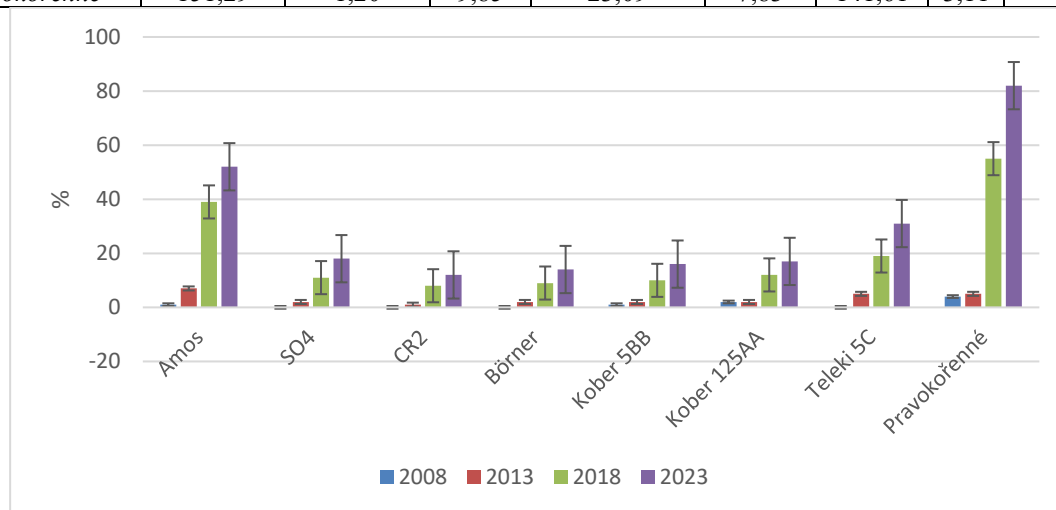
Z tabulky 2 je zřejmé, že podobně jako u předešlé odrůdy i zde prvních 5-10 let plodily všechny sledované varianty obdobně a jejich úmrtnost byla nízká. Později, zejména od roku 2018 (extrémně suchý ročník s vysokými letními teplotami s minimem srážek) však úmrtnost značně narůstá napříč variantami a vrcholí rokem 2023. Dá se říct, že právě až v posledních sledovaných letech se začínají více projevovat vlastnosti jednotlivých podnoží na dané lokalitě. Rozdíly lze sledovat zejména u hmotnosti hroznů, výnosech a cukernatosti. Postupem času bylo na keřích méně hroznů, ale s hmotnějšími (většími) bobulemi. Vyšší výnosy byly zaznamenány na podnožích Kober 125 AA, CR2, Kober 5BB i na novější podnoži Börner.

Mortalita keřů byla obdobná jako u odrůdy Hibernál, tj. u odrůdy Cerason byla nejvyšší úmrtnost u pravokořenně množených rostlin (82 %!, s nástupem od roku 2018) a na podnoži Amos a dále u rostlin na podnoži Teleki 5C.

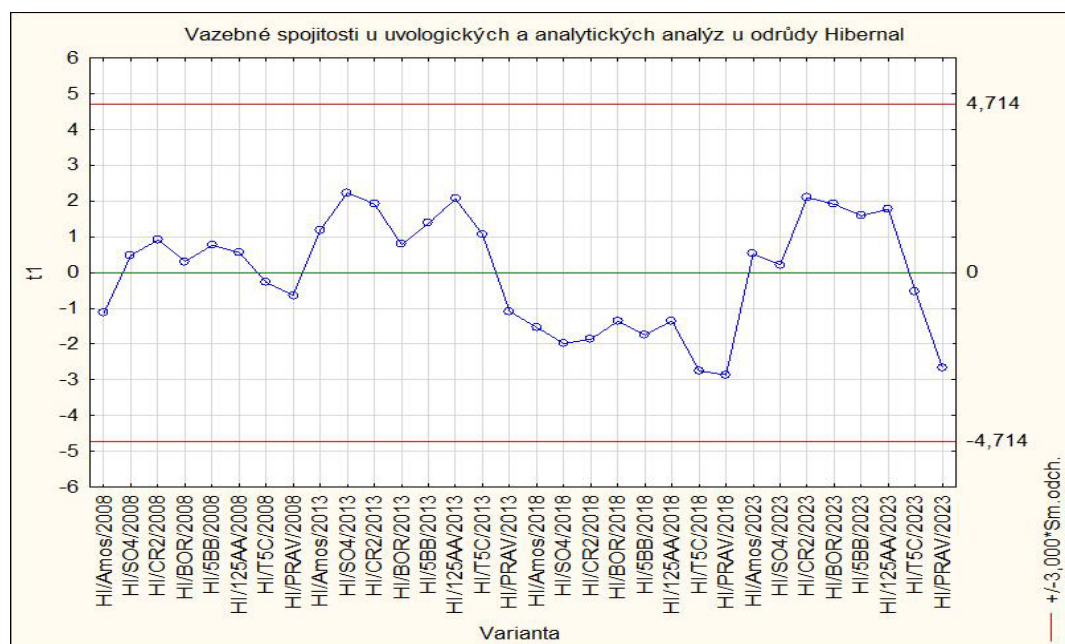
Graf 3 ukazuje souhrnnou PCA analýzu vazebné spojitosti jednotlivých variant s odrůdou Hibernál oproti nejvýznamnějšímu komponentu V-výnos, kde program stanovil rozhraní (dle směrodatných odchylek), tj. všechny varianty nad zelenou čarou vykazovaly vhodnost použití pro danou lokalitu (měly optimální cukernatost a obsah kyselin v hroznech + střední až vyšší výnosy; varianty pod čarou (zejména kontrolní pravokořenné varianty = vykazovaly nízký výnos) či nad čarou (zejména varianty s bujně rostoucími podnožemi = vyšší výnosy); dále je vidět vliv ročníků, kdy v roce 2013 a 2023 (varianty výrazněji nad čarou) vykazovaly varianty hmotnější hrozny a vyšší výnosy. Mezi optimální podnožové odrůdy tak analýza řadí Kober 125AA, CR2, Börner, Kober 5BB a SO4.

Tabulka 2: Uvologické charakteristiky u odrůdy Cerason od 4 roku po výsadbě, vždy po 5 letech

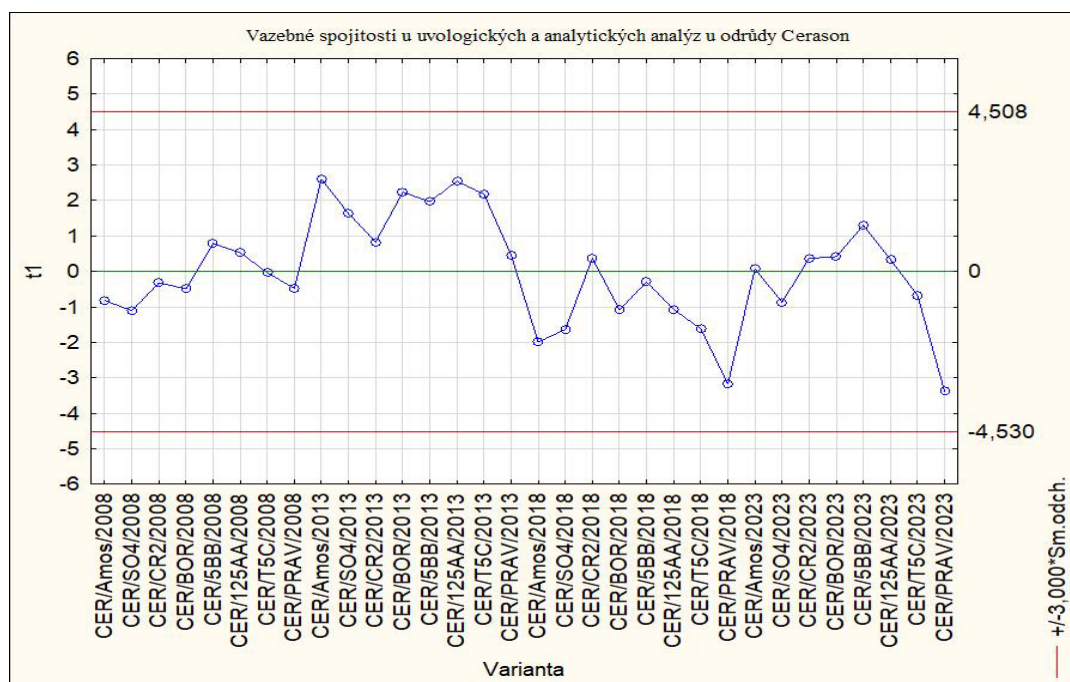
Roky/podnože	Sledované parametry							
	Hmotnost hroznu (g)	Hmotnost bobule (g)	Výnos (t/ha)	Cukernatost (°NM)	Obsah kyselin (g/l)	Asimil. dusík (mg/l)	pH	Úmrtnost (%)
2008								
Amos	156,07	1,35	10,94	23,1	8,42	151,56	3,41	1
SO 4	167,44	1,36	11,79	24,6	8,71	140,01	3,26	0
CR 2	168,19	1,31	13,27	24,0	8,85	139,55	3,30	0
Börner	162,87	1,32	12,82	24,1	8,92	140,02	3,21	0
5 BB	177,30	1,21	13,78	24,0	9,60	145,16	3,31	1
125 AA	167,99	1,34	14,50	24,5	9,18	144,22	3,29	2
T 5C	180,02	1,29	13,17	24,2	9,16	149,14	3,24	0
Pravokořenně	165,55	1,30	11,05	24,3	9,20	150,11	3,21	4
2013								
Amos	213,15	1,24	13,43	17,21	10,23	199,71	2,96	7
SO 4	221,41	1,03	11,22	18,90	10,03	154,54	3,04	2
CR 2	225,16	1,21	11,86	19,85	8,81	139,38	2,98	1
Börner	219,33	1,20	13,10	18,45	9,98	151,83	3,03	2
5 BB	220,58	1,43	12,14	18,45	9,94	184,77	3,02	2
125 AA	211,05	1,22	14,14	18,80	10,17	206,91	2,94	2
T 5C	210,47	1,36	14,29	18,50	9,58	176,80	2,93	5
Pravokořenně	199,25	1,25	10,95	19,84	9,03	149,59	2,91	5
2018								
Amos	169,81	1,18	12,02	25,9	8,18	162,24	3,99	39
SO 4	172,22	1,16	12,57	25,5	7,47	163,22	3,98	11
CR 2	178,45	1,34	12,99	24,5	9,65	202,62	3,78	8
Börner	171,94	1,38	12,51	25,2	8,08	148,98	3,70	9
5 BB	173,41	1,33	12,89	24,9	8,98	175,50	3,75	10
125 AA	173,55	1,47	12,90	25,6	8,11	182,21	3,85	12
T 5C	170,12	1,28	12,05	25,3	7,89	158,02	3,95	19
Pravokořenně	149,01	1,15	11,59	25,0	7,15	138,59	3,70	55
2023								
Amos	256,89	1,40	10,85	22,80	10,18	185,55	3,07	52
SO 4	281,66	1,72	11,25	25,21	8,01	113,56	3,14	18
CR 2	269,54	1,64	11,84	24,66	9,31	172,59	3,04	12
Börner	271,27	1,58	11,81	23,45	9,11	186,57	3,13	14
5 BB	279,31	1,53	11,85	21,99	9,92	219,75	3,05	16
125 AA	280,22	1,67	11,91	23,71	9,01	192,38	3,03	17
T 5C	266,97	1,64	10,94	24,56	8,79	159,09	3,07	31
Pravokořenně	151,29	1,20	9,85	23,09	7,83	141,61	3,11	82



Graf 2: Úmrtnost sledovaných keřů během let u odrůdy Cerason (v %)



Graf 3: PCA analýza sledovaných komponent (hmotnost hroznů a bobulí, výnos, cukernatost, obsah kyselin a mortalita) vzájemně mezi sebou u všech variant. Legenda: HI – odrůda Hibernál; podnože – Amos, SO4, CR2, Börner, 125AA, 5BB T5C a pravokořenná varianta; sledované roky – 2008, 2013, 2018 a 2023



Graf 4: PCA analýza sledovaných komponent (hmotnost hroznů a bobulí, výnos, cukernatost, obsah kyselin a mortalita) vzájemně mezi sebou u všech variant. Legenda: CER – odrůda Cerason; podnože – Amos, SO4, CR2, Börner, 125AA, 5BB T5C a pravokořenná varianta; sledované roky – 2008, 2013, 2018 a 2023

Z grafu 4 je opět patrný vliv ročníků na jednotlivé varianty, tj. různé podnože u odrůdy Cerason, kde mezi optimální podnožové odrůdy analýza řadí Kober 5BB, Kober 125 AA, Börner a CR2 (čili bujněji rostoucí podnožové odrůdy).

DISKUSE

Díky neustálé klonové selekci podnožového materiálu ve významných šlechtitelských centrech či stanicích (zejména ve Francii a Německu) dochází k vylepšování vlastností nejen novějších, ale i dosud běžně používaných podnoží, jako zejména Kober 5BB (klony jako MO-XIV/50, 13Gm, 101 N, FR 148, A3/12, aj.). Například Kraus/10/ o ní uvádí, že tato podnož není vhodná pro vápenité půdy (snese údajně jen 10 % akt. vápníku v půdě), ale jiný novější francouzský zdroj/8/ již uvádí, že snese až 18 %. Při molekulárně-genetických analýzách se potvrdilo, že některé stejně označené podnožové odrůdy jsou genotypově odlišné/16/. K těmto rozdílům došlo tak, že historicky šlechtitelé, jako např. A. Teleki, množili celou skupinu svých semenáčů fenotypově velmi podobných (nemnožil se tedy jediný keř, jak je tomu v současnosti), které dělil na skupiny (např. řada 5/skupina B, C..). A následně třeba F. Kober je dále selektoval na podskupiny AA/AB/BB, dle svých vlastností a vizuálních odlišností /17, 18/. Navíc si každý region v rámci svých šlechtitelských stanic postupem času vyselektoval pod stejným názvem „zcela jiný“ Kober 5BB, ovšem naprosto adaptovaný pro zdejší podmínky. I výsledky této studie potvrzují, že zde použitý Kober 5BB nevykazoval vyšší mortalitu na vápenité půdě, tudíž tato selekce jej již snese.

Pro PIWI odrůdy (mají obvykle bujnější růst i vyšší plodnost) jsou do sušších lokalit obecně doporučovány bujněji rostoucí podnože, podporující tyto vlastnosti (zejména pro udržení dobrých výnosů). Mezi bujně rostoucí podnože se řadí Kobery, Börner a CR2 /4, 10, 12/. To potvrzuje i tato studie, ovšem vyšší výnosy vykazovala i podnož SO4 v deštivějších letech (měla často nejhmotnější, tj. největší bobule). Vyšší cukernatost se projevovala u variant s podnoží, které více tlumily růst a výnosy (tvořily se menší hrozny s menšími bobulemi), jako Amos a SO4, anebo pravokořenáče. Velmi slušný výnos při vyšší cukernatosti i vyšších kyselinách v hroznech vykazovala na dané lokalitě zejména podnož Kober 125AA a to u obou testovaných PIWI odrůd. Ke stejným závěrům došel i Těthal a kol. ve své studii s odrůdou Cerason /19/. Bohužel však po více letech (tj. po 16 letech) tato podnož ukazuje vyšší mortalitu keřů. Nicméně dle současných oceňovacích tabulek, má vinice největší hodnotu ve stáří keřů mezi 5-12 rokem a po 20 ti letech již ztrácí svou tržní hodnotu /20/. K úmrtnosti keřů píše Kraus toto/10/: nabádá používat právě novější selektované klony, a ne staré matečné podnožové vinice se širokou populací různých typů této podnože. Dále o ní píše /7, 10/, že není vhodná pro příliš výsušná stanoviště a nesmí se přehnojit dusíkem, jinak hrozí stejný problém jako u sesterské podnože 5BB (tj. nevyrovnaná výživa až odumírání keřů) a doporučuje český klon PO-03. Tehdy používaný Kober 5BB odebíral z půdy přednostně dusík a fosfor a jen omezené množství draslíku a hořčíku, což vedlo k nevyrovnané výživě a časem i k totálnímu vyčerpání keřů a jejich odumírání, zejména na půdách pro ni méně vhodných /7, 10/. Dále vyzdvihoval podnož CR2 pro vyšší výdrž oproti suchu a snášenlivost Ca v půdách (zejména klon PO-06). A o SO4 tvrdí, že urychluje zrání a tím se zvedá cukernatost v hroznech, ovšem není suchovzdorná (PO-07), což lze opět potvrdit.

Průměrná hmotnost hroznů (ovlivňující výnos) je obecně cca o 50 ± 15 g vyšší (dle odrůdy) oproti publikacím před 20 a více lety /21, 22, 23, 24/. To je dáno zejména agrotechnickými

změnami. Dnes jsou preferovány užší spony ve vinici, o polovinu nižší výnosy – díky modifikaci vedení (Rýnsko hessenské, s jedním kmínkem a kratší horizontálně vyvázanou tažní) a dále optimalizovanou výživou, velmi často spolu s kapkovou závlahou. Snahou je nepřetěžovat keře plodností (motto: 1 keř = jedna kvalitní láhev vína) a nedostávat keře zbytečně do stresových podmínek, neboť to má v konečném důsledku vliv na jejich udumírání /10/.

ZÁVĚR

Hypotéza, že podnože určené spíše do kyselejších půd budou na vápenité půdě postupem času více strádat a „odcházet“ se potvrdila, zejména u podnože Amos. Tato podnož byla vyšlechtěna v Polešovicích a je určena spíše pro tamní písčité půdy na flyši než zdejší půdy sprašové, navíc s vysokým obsahem aktivního vápníku. Během sledovaného období 16 let postupně došlo až 59 % úmrtí sledovaných keřů odrůdy Hibernál a 52 % odrůdy Cerason. Také podnož Kober 125 AA u odrůdy Hibernál vykazovala poslední rok až 30 % úmrtnost (zde se také nejvíce objevovaly i dřevokazné houby – ESCA, Eutypa). Můžeme však jen polemizovat, proč tomu tak bylo. Tato podnož by teoreticky tyto podmínky měla snášet. Nicméně na podnoži 125 AA docházelo pravidelněji k vyšší plodnosti a výnosům, což pravděpodobně více oslabovalo samotné keře. A dle očekávání byla vyšší úmrtnost přes 20 % u podnože Teleki 5C, zejména díky stresům vyvolaným suchem. Vyšší úmrtnost se také potvrdila u varianty s pravokořennými rostlinami, konkrétně 39 % u odrůdy Hibernál a 82 % u odrůdy Cerason. Zdá se, odrůda Hibernál oproti odrůdě Cerason mnohem lépe koření.

Z pohledu uvologického (zejména stabilními výnosy) se pro danou lokalitu nejlépe osvědčily podnožové odrůdy Kober 125AA a CR2, těsně následovanými podnožemi Börner, Kober 5BB a SO4 u odrůdy Hibernál; a podnožové odrůdy Kober 5BB a Kober 125 AA, těsně následovanými podnožemi Börner a CR2.

Pro danou lokalitu tak lze jednoznačně doporučit zejména podnože s bujnějším růstem, zejména osvědčené Kobery 125AA, 5BB a CR2. Pozor však na opakovaně vyšší výnosy (např. u podnože Kober 125AA u odrůdy Hibernál či Teleki 5C u odrůdy Cerason), které právě mohly vést i k vyšší mortalitě jedinců v posledních letech.

LITERATURA

- /1/ Kumšta, M., Pavloušek, P., Kupsa, J.: Influence of terroir on the concentration of selected stilbenes in wines of the cv. Riesling in the Czech Republic. Hort. Sci. (Prague), 2012, 39(1):38-46.
- /2/ Wilson, J. E. : Terroir: the Role of Geology, Climate and Culture in the Making of French Wines. 1998. ISBN-13: 978-0520219366.
- /3/ MacNeil, K.: „Burgundy“. The Wine Bible. (2nd, revised ed.). New York: Workman Publishing Company. p. 199. ISBN 9780761187158.
- /4/ Dohnal, T., Kraus, V., Pátek, J.: Moderní vinař. SZN Praha 1975.
- /5/ Kraus, V., Kraus, V. ml.: Pěstujeme révu vinnou. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0562-1.
- /6/ Pavloušek, P.: Pěstování révy vinné – moderní vinohradnictví, Grada Praha, 2024 (druhé rozšířené vydání). ISBN 9788027131662.
- /7/ Kraus, V., Kraus, V. ml.: Pěstujeme révu vinnou. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0562-1.
- /8/ Plant Grape (INRA, IFV): Catalogue of grape vines cultivated in France. 2025. <https://www.plantgrape.fr/en/varieties/rootstock-varieties>.
- /9/ Pavloušek, P.: Pěstování révy vinné v zahradách. Brno: CP Books a.s., 2005. ISBN 80-251-0840-6.
- /10/ Kraus, V., Hubáček, V., Ackermann, P.: Rukověť vinaře. Květ Praha 2004. ISBN 80-209-0327-5.
- /11/ Rýgl, T., Sotolář, R., Hnilička, F.: Monitoring teplot hroznů při jejich dozrávání během horkého léta a podzimu roku 2024. Vinař - sadař: 5/2024: 2-7.

- /12/ Pavloušek, P.: Encyklopedie révy vinné. Brno: Computer Press, a.s., 2007. ISBN: 978-80-251-1704-0.
- /13/ Ludvíková, I. a kol.: Přehled odrůd révy, ÚKZÚZ Brno 2020. ISBN 978-80-7401-182-5.
- /14/ Balík, J.: Vinařství, *návody do laboratorních cvičení*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2006, 5-32.
- /15/ MZe ČR: Situační a výhledová zpráva Réva vinná a víno 2008, 2013, 2018 a 2023. Praha.
- /16/ Fokt, M., Baránková, K.: SSR analysis of most important Czech vine rootstock varieties. In: Řehout, V. (ed.). Biotechnology 2008. 1. vyd. České Budějovice: Scientific Pedagogical Publishing, 93–97. ISBN 80-85645-58-0.
- /17/ Kober, F.: Veber das vortreiben veredelter schnittreben. Klosterneuburg 1903.
- /18/ Katlchtbaler, K.: Ratgeber im neuen weibave. Mistelbach 1912.
- /19/ Těthal, J., Sochor, J., Sotolář, R., Pavloušek, P., Baroň, M., Danko, R., Kaplan, M., Klimek, K.: A study on effects of rootstocks on vine balance of 'Cerason' cultivar. Horticultural Science (Prague), 52, 2025: 202-214.
- /20/ Vyhláška k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška) č. 441/2013 Sb.
- /21/ Kutina, J., Barborka, A., Cvopa, J., Kalášek, J., Kraus, V., Pospíšilová, D., Richter, M., Svoboda, V., Vachůn, Z., Vondráček, J., Záruba, P. a Zlatošová, B.: Pomologický atlas 1, Zemědělské nakladatelství Brázda, Praha. 1991.
- /22/ Kondáš, M.: Vplyv podpníkov na kvalitu hrozna a vína odrody Cerason. DP, ZF MENDELU, 2014.
- /23/ Sotolář, R., 2018. Ampelografické a analytické srovnání odrůd révy z rodiny Portugalů. *Zahradnictví*, sv. XVII, č. 8: 60-64. ISSN 1213-7596.
- /24/ Sotolář, R., Markel, M., Baránková, K., Kopta, T., Havlík, M., Winkler, J., Sedlář, P., Sochor, J.: Informační systém historických odrůd révy vinné. Software, ZF MENDELU v Brně. <http://naki-vineyard.hfbiz.cz/#/>

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

FYZIOLOGICKÉ ROZDÍLY MEZI GEOGRAFICKÝMI EKOTYPY ZÁSTUPCŮ RODU ROZCHODNÍKOVEC (*HYLOTELEPHIUM* sp.)

PHYSIOLOGICAL DIFFERENCES BETWEEN GEOGRAPHICAL ECOTYPES OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS *HYLOTELEPHIUM* sp.

Oldřiška Sotolářová¹, Radek Sotolář², Tomáš Rýgl³, František Hnilička³

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav zelinářství a květinářství, Valtická 337, 691 44 Lednice, oldriska.sotolarova@mendelu.cz

² Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

³ Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchbátka, rygl@af.czu.cz, hnlicka@af.czu.cz

Summary

In selected geographic ecotypes of the genus *Hylotelephium*, gas exchange rates were measured under natural light conditions. Two horticulturally important cultivars representing different geographic ecotypes were included in the experiment. The results indicate that changes in photosynthetic rate were similar in both plants, with a decline observed approximately between 10:00 and 18:00, while an increase in photosynthetic activity occurred during the night and early morning hours. These results correspond to the CAM type of photosynthesis. In contrast to photosynthesis, transpiration did not show a pronounced temporal trend. While no statistically significant differences were found between the plants in photosynthetic rate and stomatal conductance, transpiration was significantly higher in red-leaved plants compared to green-leaved ones. The findings also suggest that physiological differences between geographic ecotypes are manifested more in water regulation than in the basic capacity for photosynthesis, supporting the concept of ecotypes as subtle adaptive variants within the continuous variability of the species.

Key words: *Hylotelephium*, *stonecrop*, *geographic ecotypes*, *gas exchange*, *primary metabolism*

Souhrn

U vybraných geografických ekotypů rodu rozchodníkovec (*Hylotelephium* sp.) byla za přirozených světelných podmínek měřena rychlost výměny plynů. Do pokusu byly vybrány dvě zahradnické významné odrůdy představující odlišné geografické ekotypy. Ze získaných výsledků vyplývá, že změny rychlosti fotosyntézy byly u obou rostlin obdobné, přičemž v časovém intervalu přibližně od 10 do 18 hodin byl zaznamenán její pokles, zatímco zvýšení fotosyntetické aktivity nastávalo v nočních a ranních hodinách. Tyto výsledky odpovídají charakteru CAM typu fotosyntézy. Oproti fotosyntéze nevykazovala transpirace výrazný trend v závislosti na čase. Zatímco v rychlosti fotosyntézy a stomatální vodivosti nebyly mezi rostlinami zjištěny statisticky průkazné rozdíly, u transpirace byla prokázána vyšší rychlost u

červenolistých rostlin ve srovnání se zelenolistými. Získané výsledky také naznačují, že fyziologické rozdíly mezi geografickými ekotypy se projevují spíše v regulaci vodního režimu než v základní kapacitě fotosyntézy, což podporuje pojetí ekotypů jako jemných adaptačních variant v rámci kontinuální variability druhu.

Klíčová slova: Hylotelephyum, rozchodníkovec, geografické ekotypy, výměna plynů, primární metabolismus

ÚVOD

Ekotyp lze charakterizovat jako lokální populaci, jež je „zvláště nápadně přizpůsobena místnímu prostředí“. Termín ekotyp se používá zejména v botanice, zatímco v zoologii slouží k označení téhož jevu spíše pojmenování „ekologická rasa“ /1/. Fenomén ekotypů je také spojován spíše s rostlinami než s živočichy, neboť zejména velcí endotermní živočichové – tedy živočichové poutající největší díl lidské pozornosti – vykazují značnou fenotypovou robustnost a tento trend u nich nebývá patrný /2/.

Termín ekotyp zavedl Turesson /3/ společně s termínem „ekodruh“, kdy ekodruh představuje soubor ekotypů, jež vznikají dědičným přizpůsobením se konkrétním stanovištěm. Dědičný základ populačních rozdílů Turesson prokázal přesazovacími experimenty, na které posléze navázali např. Clausen, Keck a Hiesey, současníci neodarwinistů, již však svou prací moderní evoluční syntézu paradoxně silněji neovlivnili /4/. Zvláště do 60. a 70. let 20. století probíhaly četné akademické spory o smysluplnosti ekotypu, zažehnuté zejména tím, že některé později zkoumané fenotypové variace vykazovaly klinální variabilitu.

Lowry /5/, jenž historii dobového sporu shrnuje, interpretuje, že ekotypy jejich tehdejší kritici považovali za zavádějící snahu vměstnat vnitrodruhové variace do statických skupin. V odkazu Turessona a jeho následovníků však vnímá ekotypy spíše v podobě „nenáhodného rozdělení dědičně podmíněných variací v kontinuu vzniku druhů“. Mayr /2/ byl toho názoru, že koncept ekotypu trpí shodnými slabinami jako koncept poddruhu, tedy např. častou klinální variabilitou, nejasným vymezením v prostoru či polyfyletismem konkrétních ekotypů. V tomto smyslu kritizuje fakt, že zatímco poddruh vznikl k praktickému rozčlenění vnitrodruhové variability, ekotyp byl od začátku míněn jakožto biologicky smysluplná kategorie.

Rod *Hylotelephyum* je taxonomicky poměrně mladý rod, který byl vyčleněn z dříve široce pojímaného rodu *Sedum* L. na základě morfologických znaků a stavby semeníků /6/. Historicky byly druhy dnešního rodu *Hylotelephyum* popisovány pod různými rodovými jmény, jako *Telephyum*, *Anacampseros*, *Crassula* či *Sedum* /7, 8, 9, 10, 11/. Rod zahrnuje převážně primitivní hemikryptofyty s krátkými podzemními odnožemi a neredukovanými květními žilkami /12, 13, 14/. V současnosti je v rámci rodu rozlišováno přibližně 35 druhů rozšířených v Evropě, Asii a Severní Americe /15/. Eggli /16/ rozděluje rod *Hylotelephyum* do tří sekcí, přičemž do typové sekce *Hylotelephyum* patří zejména vysoce rostoucí druhy, u nichž přetrvávají nomenklatorické nejasnosti, zejména u purpurově kvetoucích taxonů.

Rod *Hylotelephyum* náleží do čeledi *Crassulaceae*, která má téměř kosmopolitní rozšíření a zahrnuje především sukulentní rostliny adaptované na suché a semiaridní podmínky. Typickými znaky jsou zdužnatělé kořeny, stonky a listy, silná kutikula a schopnost regulovat transpiraci uzavíráním průduchů (Grulich 1997). Tyto adaptace souvisejí se specifickým typem fotosyntézy – CAM metabolismem (Crassulacean acid metabolism), který umožňuje příjem

CO₂ v nočních hodinách a jeho následné využití během dne (Gilman et al. 2023). CAM je považován za klíčovou ekologickou adaptaci na vodní stres a sucho, přičemž první poznatky o nočním příjmu CO₂ pocházejí již z prací N. T. de Saussura na počátku 19. století /17/.

Fotosyntéza a transpirace jsou úzce propojeny s funkcí průduchů, které regulují výměnu plynů a vodní bilanci rostlin. Význam průduchů pro fotosyntetickou aktivitu, efektivitu využití vody a produktivitu rostlin byl potvrzen řadou studií /18, 19, 20, 21, 22/. Rychlost fotosyntézy je ovlivněna světelnými podmínkami, teplotou, koncentrací CO₂ a dostupností vody /23, 24, 25, 26/. Uzavírání průduchů představuje jednu z nejrychlejších reakcí na sucho, avšak zároveň omezuje příjem CO₂ a snižuje fotosyntézu /27/. Stomatální vodivost je proto klíčovým parametrem ve studiích fyziologie rostlin i v modelech predikujících reakce vegetace na klimatické změny /28, 29/.

Cílem uvedeného výzkumu bylo stanovit fyziologický rozdíl mezi jednotlivými geografickými ekotypy zástupců rodu rozchodníkovec (*Hylotelephium* sp.).

MATERIÁL A METODY

Do pokusu byly vybrány dvě zahradnický významné odrůdy tak, aby jednotlivé odrůdy představovaly přírodní druhy ze dvou odlišných geografických nalezišť (míst původu). Z asijské oblasti byl vybrán ekotyp *H. spectabile* zastoupený odrůdou 'Brillant' (zelenolistá) a z evropské oblasti pak *H. telephium* zastoupený odrůdou 'Purple Emperor' (červenolistá). *Hylotelephium spectabile*, původní v Číně a Koreji, je sukulentní trvalkou dobře adaptovanou na suché, slunné a dobře odvodněné stanoviště, s vysokou schopností akumulovat vodu v listech a tolerovat sucho, což reflektuje jeho ekologickou roli ve středních temperátních oblastech Asie. *Hylotelephium telephium*, s areálem přirozeného výskytu v Evropě a západní části Asie, rovněž snáší suché podmínky, ale jeho ekologický rozsah zahrnuje i mírně vlhčí půdy a různé substráty v nížinných až středních nadmořských výškách, což může odrážet širší adaptivní spektrum temperátních eurasijských populací /6/.

Hylotelephium 'Purple Emperor': tato odrůda patří do skupiny červenolistých. Má vzpřímený růst. Dorůstá do výšky 45 – 60 cm, šířka rostliny může být i více než 60 cm. V jarním období můžou mít listy šedý nádech, později listy tmavnou. Povrch listu je pololesklý. Postavení listů jsou většinou vstřícné, obvykle dorůstají 2,5 cm délky a více než 5 cm šířku. Průměr květenství je přibližně 5 cm. Poupata i barva květů se liší v závislosti na místě, expozici a teplotách. Poupata jsou růžová. Samotné květy mohou být dvoubarevné /30/.

Hylotelephium 'BRILLANT': odrůda dorůstá do výšky 45-60 cm, šířka rostliny může být i více než 45 cm. V jarním období můžou mít listy šedo zelený nádech. Listy mohou být 5 cm dlouhé a 2,5 cm široké s mírně zubatými okraji. Kvete na konci léta, růžovou barvou. Odrůda nemá žádné tyčinky. Průměr květenství je od 7,5 do 10 cm /30/.

Rostliny rozchodníkovec byly pěstovány ve studeném skleníku typu „Japan“. Pokus probíhal na tříletých zapěstovaných rostlinách v témže skleníku. Rostliny byly vysázeny ve sponu 50 x 70 cm, s omezenou závlahou i výživou. Bezplevelný stav byl řešen školkařskou fólií. Minimální počet od varianty (odrůdy) byl 10 ks.

Rychlost výměny plynů a stomatální vodivost byly sledovány pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Velká Británie). LCpro+ je gazometrický přenosný přístroj, který je určený na měření rychlosti fotosyntézy a transpirace, substomatální CO₂ a stomatální vodivosti. Rozsah měření CO₂ je 0 až 3000 μmol a rozsah pro

měření H_2O 0 až 75,5 mmol (adc.co.uk 2019). Během procesu měření se zobrazí jak data, tak i grafické informace. Pro měření CO_2 využívá nerozptýlené infračervené záření, to vyplývá ze skutečnosti, že v poměru ke koncentraci plynu CO_2 absorbuje infračervené oblasti. Rychlost transpirace a fotosyntézy se vypočítá z průtoku a změny koncentrace plynů mezi výstupem a vstupem z komůrky. U zástupců rozchodníkovců byly fyziologické charakteristiky měřeny při přirozené hustotě ozáření a teplotě 25 °C. Měření se uskutečnilo na základě metodických pokusů Holé et al. /31, 32/.

Výsledky byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny v programu Statistica 12.0, Veškeré pokusy a analýzy byly ve třech opakováních. Na základě statistické analýzy (multifaktorová Anova, LSD test) byla vyhodnocena průkaznost rozdílů mezi jednotlivými geografickými podruhy rozchodníkovce, na statistické hladině průkaznosti $\alpha = 0,05$.

VÝSLEDKY

Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy, které jsou uvedeny v grafu 1, vyplývá, že červenolisté *H. telephium* 'Purple Emperor' ($3,13 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) vykazuje vyšší fotosyntézu ve srovnání se zelenolistým *H. spectabile* 'Brillant' ($3,05 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), avšak rozdíly jsou statisticky neprůkazné.

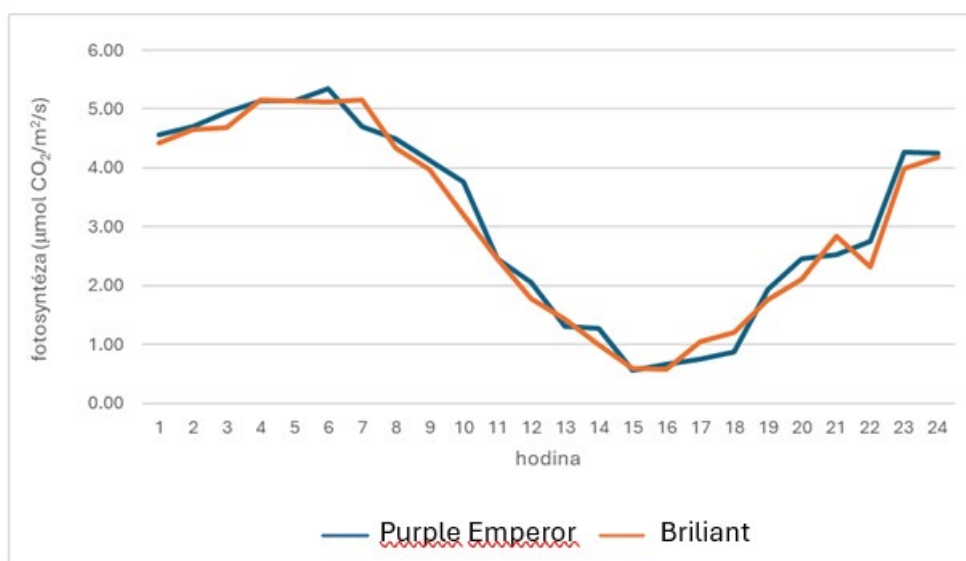
Z grafu 1 vyplývá, že trend změn rychlosti fotosyntézy v závislosti na čase, včetně osvětlení, je u obou rostlin obdobná, neboť cca od 10 hodin do 18 hodin je možné zaznamenat její pokles. Naopak zvýšení fotosyntézy je možné zaznamenat v nočních a ranních hodinách. Na základě těchto dat je možné usuzovat, že se jedná o rostliny CAM cyklu fotosyntézy.

Statisticky průkazný pokles fotosyntézy u červenolistých rostlin byl naměřen v 15 hodin ($0,55 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) až 18 hodině ($0,87 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). V tomto časovém úseku byla fotosyntéza nejnižší. Zvýšení rychlosti fotosyntézy bylo zaznamenáno v časovém úseku 23 hodin ($4,27 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) až 6 hodin ráno ($5,35 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). neprůkazné snížení fotosyntézy v tomto časovém úseku dne byl mezi 24 a 23 hodinou noční, 4 a 5 hodinou ranní.

Po rozednění se postupně rychlost fotosyntézy snižovala, neboť v 7 hodin ráno byla rychlost fotosyntézy ve výši $4,70 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$. Postupný pokles fotosyntézy byl až do 10 hodiny dopolední ($3,77 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). V následující hodině se již fotosyntéza výrazně snížila ($2,45 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) a tento pokles trvá v první etapě do 14 hodiny odpoledne ($1,27 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). Během postupného snižování intenzity slunečního záření a zvyšování vlhkosti vzduchu se fotosyntéza začala průkazně zvyšovat na hodnotu $1,93 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (19 hodin). Postupné zvyšování fotosyntézy, téměř lineární je v časovém intervalu 20-22 hodin.

Oproti červenolistému *H. telephium* 'Purple Emperor' se u zelenolistého *H. spectabile* 'Brillant' lineárně snižuje rychlost fotosyntézy v závislosti na čase. Z níže uvedeného grafu vyplývá, že pokles rychlosti fotosyntézy začíná již v 8 hodin ráno ($4,33 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) a pokračuje až do 16. hodin ($0,57 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). Pokles je možné rozdělit do dvou segmentů, kdy první pokles je mezi 7–13 hodinou ($1,43 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). A druhý pokles je od 13. hodin do 16. hodin. V 17. hodin se již fotosyntéza začala pozvolna zvyšovat na hodnotu $1,05 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$. Zvyšování fotosyntézy je opět téměř lineární až do 21. hodiny ($2,84 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). Poté se fotosyntéza snížila, ale toto snížení bylo opět vystřídáno jejím zvýšením. Neprůkazné snížení fotosyntézy bylo poté zaznamenáno mezi 23. a 24. hodinou. Od půlnoci až

do 7. hodiny ránní se fotosyntéza zvyšovala, přičemž neprůkazné snížení bylo zjištěno mezi 6. a 5. hodinou ránní. V tomto časovém úseku byla fotosyntéza nejnižší o půlnoci (4, $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) a nejvyšší v 7. hodin ráno (5,16 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$).

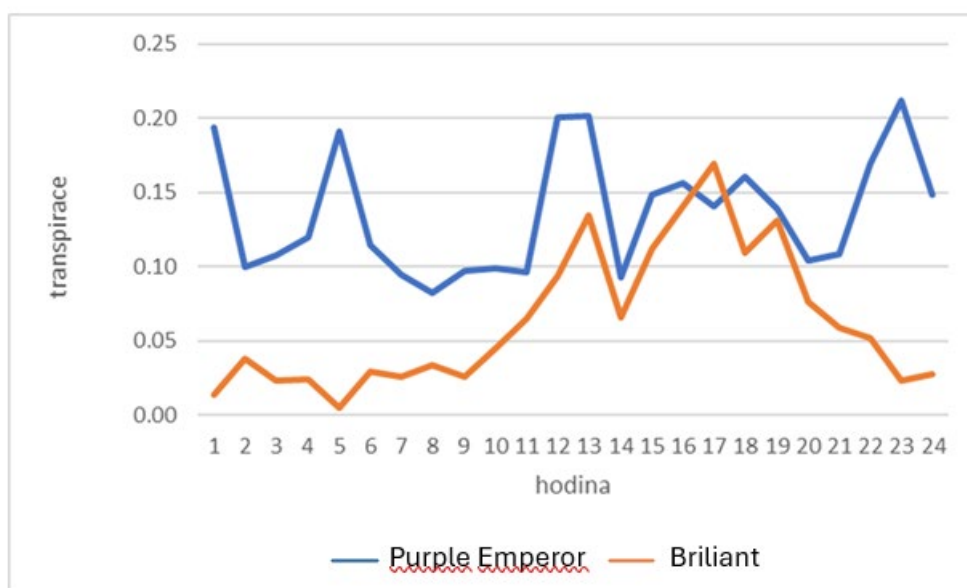


Graf 1: Změny rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) geografických podruhů a ekotypů zástupců rodu rozchodníkovec v závislosti na čase

Další měřenou charakteristikou byla transpirace. Z jejich hodnot vyplývá, že průkazně vyšší transpiraci vykazují červenolisté *H. telephium* 'Purple Emperor' (0,23 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) ve srovnání se zelenolistými *H. spectabile* 'Brillant' (0,10 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$). Mezi ekotypy jsou rozdíly v závislosti na čase a intenzitě ozáření, jak uvádí graf 2.

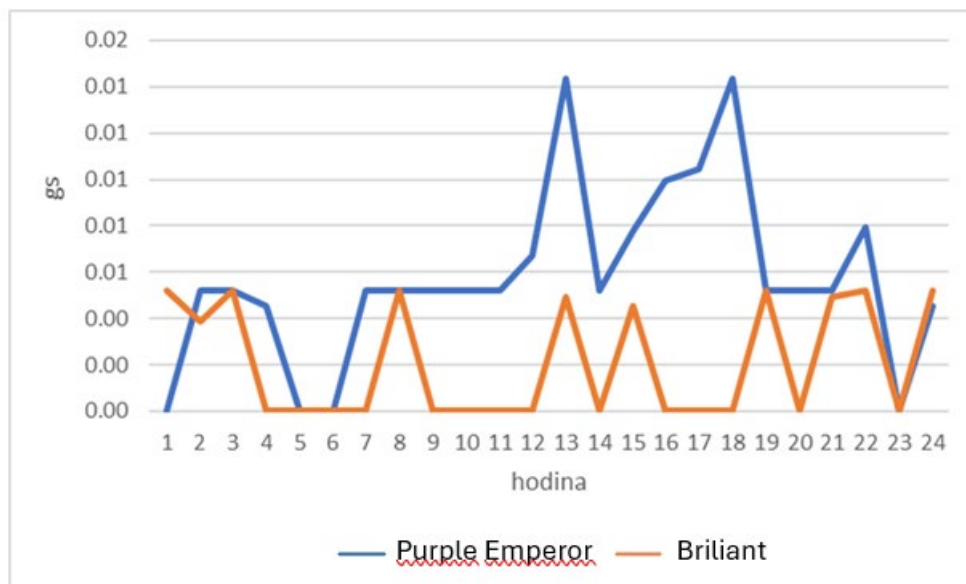
Oproti fotosyntéze nevykazuje transpirace výrazný trend v nárůstu či poklesu jejich hodnot v závislosti na čase. U červenolistých rostlin byla nejvyšší transpirace naměřena v poledních hodinách, kdy její maximum bylo ve 13. hodin (0,20 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$). Avšak maximální transpirace byla naměřena ve 23. hodin (0,21 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) a nejnižší v 8. hodin ráno (0,08 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$). pozvolné snižování rychlosti transpirace je možné zaznamenat v časovém intervalu 7 hodin (0,09 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) až 11 hodin (0,10 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$). Po maximální hodnotě transpirace se v následném termínu času snížila. Pokles transpirace poté trvala až do 20. hodin (0,10 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$). Kdy však snížení transpirace bylo vystřídáno jejím poklesem.

U zelenolistých rostlin byl interval hodnot transpirace v rozpětí hodnot od 0,004 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ (5 hodin) do 0,17 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ (17 hodin). Nejnižší hodnoty transpirace byly zjištěny v nočních a časně ranních hodinách, s výjimkou 8 hodin, kdy se v porovnání s předchozím termínem měření průkazně zvýšila na hodnotu (0,03 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$). Mezi 3. hodinou (0,02 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) až 9. hodinou (0,03 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) byla transpirace nejnižší. Naopak nejvyšší transpirace byla zaznamenána ve 13 hodin (0,13 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$), avšak v následujícím termínu se průkazně snížila na hodnotu 0,07 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$. Toto snížení bylo poté vystřídáno nárůstem transpirace mezi 16. hodinou (0,17 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) až 18. hodinou (0,11 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$).



Graf 2: Změny rychlosti transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O/m}^2/\text{s}$) geografických podruhů a ekotypů zástupců rodu rozchodníkovec v závislosti na čase

Mezi rostlinami nebyly nalezeny průkazné rozdíly v hodnotě stomatální vodivosti. Hodnoty stomatální vodivosti (gs) byly nízké, viz graf 3. U obou ekotypů je možné zaznamenat její zvýšení v odpoledních hodinách, což může souviset nejenom se změnami transpirace, ale i fotosyntézy. V rámci jednotlivých termínů nebyly nalezeny trendy v nárůstu či poklesu hodnot stomatální vodivosti.



Graf 3: Změny stomatální vodivosti ($\text{mol/m}^2/\text{s}$) geografických podruhů a ekotypů zástupců rodu rozchodníkovec v závislosti na čase

DISKUSE

Naměřené hodnoty rychlosti fotosyntézy u obou sledovaných geografických ekotypů rodu *Hylotelephium* vykazují typický denní průběh odpovídající rostlinám s CAM typem fotosyntézy. Pokles fotosyntetické aktivity během denních hodin a její zvýšení v nočním a časně ranním období je v souladu s klasickým pojetím CAM metabolismu, kdy je fixace CO₂ časově oddělena od světelných reakcí fotosyntézy /33, 34/. Tento mechanismus představuje významnou adaptační strategii umožňující omezení transpirace a zvýšení efektivity hospodaření s vodou v suchých nebo stanovištně stresujících podmínkách, které jsou typické pro přirozená stanoviště mnoha zástupců čeledi *Crassulaceae*.

Skutečnost, že nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi zelenolistými a červenolistými odrůdami z odlišných ekotypů naznačuje, že základní funkční nastavení fotosyntetického aparátu je u obou ekotypů srovnatelné. To může svědčit o vysoké míře fyziologické konzervativnosti CAM metabolismu v rámci rodu *Hylotelephium*, a to i přes rozdílný geografický původ a zjevné fenotypové rozdíly mezi sledovanými formami. Podobné závěry uvádějí i práce zaměřené na sukulентní druhy, u nichž se ekologické rozdíly často neprojevují v maximální rychlosti fotosyntézy, ale spíše v regulaci vodního režimu a ve schopnosti reagovat na stresové podmínky /35/.

Na rozdíl od fotosyntézy se mezi sledovanými rostlinami projeví průkazné rozdíly v rychlosti transpirace, kdy červenolisté rostliny *H. telephium* 'Purple Emperor' vykazovaly vyšší hodnoty oproti zelenolistým rostlinám *H. spectabile* 'Brillant'. Tento rozdíl lze interpretovat i v kontextu jejich přirozeného geografického rozšíření. Asijské druhy rodu *Hylotelephium*, včetně *H. spectabile*, jsou často popisovány jako druhy preferující dobře odvodněná, spíše sušší stanoviště, zatímco evropský *H. telephium* se vyskytuje v širším spektru podmínek, včetně stanovišť s mírně vyšší dostupností vody a ve vyšších nadmořských výškách. Vyšší rychlost transpirace u evropského ekotypu tak může odrážet adaptaci na méně extrémně xerické podmínky, případně vyšší toleranci k vodním ztrátám.

Zjištěné nízké hodnoty stomatální vodivosti u obou ekotypů odpovídají charakteru CAM rostlin, u nichž je otevření průduchů během denních hodin výrazně omezeno. Absence statisticky průkazných rozdílů ve stomatální vodivosti naznačuje, že rozdíly v transpiraci mezi sledovanými ekotypy nejsou primárně způsobeny rozdílnou regulací průduchů, ale spíše rozdíly v kutikulární transpiraci, anatomii listů nebo pigmentovém složení pletiv. Zvýšený obsah antokyanů u červenolistých forem bývá spojován se změnami energetické bilance listu a s odlišnou regulací vodního režimu, zejména za podmínek vysoké intenzity záření /36, 37/. Podobné vztahy byly popsány i u dalších sukulентních taxonů, kde barva listů a jejich anatomická stavba ovlivňují vodní ztráty nezávisle na stomatální regulací /38/.

Z hlediska konceptu ekotypů lze výsledky interpretovat tak, že rozdíly mezi sledovanými rostlinami odrážejí spíše jemné adaptační posuny v rámci vodního hospodaření než hlubokou fyziologickou diferenciaci fotosyntetického aparátu. To podporuje názor, že u druhů s výraznou fenotypovou plasticitou, jaké jsou sukulентní rostliny rodu *Hylotelephium*, může být obtížné jednoznačně odlišit geneticky fixované ekotypy od plastických odpovědí na podmínky prostředí /2, 39/. Sledované formy tak lze považovat za příklad kontinuální variability v rámci ekologicky podmíněné adaptace, nikoliv za striktně vymezené fyziologické jednotky.

Celkově výsledky potvrzují, že rod *Hylotelephium* disponuje stabilním CAM fotosyntetickým aparátem, který umožňuje vysokou ekologickou toleranci a úspěšné přežívání

v širokém spektru stanovištních podmínek. Rozdíly mezi geografickými ekotypy se projevují především v regulaci vodního režimu a transpirace, což může mít význam nejen z ekologického hlediska, ale také pro praktické využití těchto taxonů v suchých, extenzivních či klimaticky stresovaných výsadbách.

ZÁVĚR

Ze získaných výsledků vyplývá, že změny rychlosti fotosyntézy jsou u obou rostlin obdobné, neboť cca od 10 hodin do 18 hodin je možné zaznamenat její pokles. Naopak zvýšení fotosyntézy je možné zaznamenat v nočních a ranních hodinách. Na základě těchto dat je možné usuzovat, že se jedná o rostliny CAM cyklu fotosyntézy. Oproti fotosyntéze nevykazuje transpirace výrazný trend v nárůstu či poklesu jejich hodnot v závislosti na čase. V rámci fotosyntézy a stomatální vodivosti nebyly nalezeny rozdíly mezi rostlinami, zatímco u transpirace vykazuje vyšší rychlost červené rostliny v porovnání s bílými.

Analýza rychlosti fotosyntézy a stomatální vodivosti neprokázala statisticky významné rozdíly mezi srovnávanými typy, což naznačuje, že základní fyziologické nastavení fotosyntetického aparátu je v rámci rodu *Hylotelephium* relativně konzervativní. Tento poznatek podporuje předpoklad, že CAM metabolismus představuje stabilní adaptační strategii umožňující úspěšné přežívání v širokém spektru ekologických podmínek, zejména v prostředí vystaveném periodickému vodnímu stresu.

Na rozdíl od fotosyntézy byly mezi sledovanými rostlinami zjištěny průkazné rozdíly v rychlosti transpirace, přičemž vyšší hodnoty byly zaznamenány u červeně zbarvených rostlin. Tyto rozdíly lze interpretovat jako projev odlišné regulace vodního režimu, případně rozdílů v anatomii pletiv či pigmentovém složení listů. Výsledky tak naznačují, že fenotypové odlišnosti mezi jednotlivými formami *Hylotelephium* se mohou projevit spíše v parametrech hospodaření s vodou než v samotné kapacitě fotosyntézy.

Z pohledu konceptu ekotypů lze konstatovat, že zjištěné fyziologické rozdíly nepředstavují ostré hranice mezi jednotlivými poddruhy či ekotypy, ale spíše jemné adaptační posuny v rámci kontinuální variability druhu. To podporuje názor, že u druhů s vysokou fenotypovou plasticitou, jakými jsou sukulentní rostliny s CAM fotosyntézou, je rozlišení mezi geneticky fixovanými ekotypy a plastickými odpověďmi na prostředí často obtížné.

Získané poznatky přispívají k hlubšímu pochopení ekologické a fyziologické variability rodu *Hylotelephium* a potvrzují jeho vysoký adaptační potenciál. Tyto výsledky mohou být přínosné nejen z hlediska základního výzkumu, ale také pro praktické využití zástupců tohoto rodu v suchomilných výsadbách, městské zeleni a v kontextu probíhajících klimatických změn.

LITERATURA

- /1/ Reydon, T., & Kunz, W. (2021). Classification below the species level: when are infraspecific groups biologically meaningful? *Biological Journal of the Linnean Society* 134(1). doi:10.1093/biolinnean/blab067
- /2/ Mayr, E. (1963). *Animal Species and Evolution*. Cambridge: Harvard University Press.
- /3/ Turesson, G. (1922). The genotypical response of the plant species to the habitat. *Hereditas* 3:211–340.
- /4/ Núñez-Farfán, J., & Schlichting, C. (2001). Evolution in changing environments: the "synthetic" work of Clausen, Keck, and Hiesey. *The Quarterly Review of Biology* 76(4). doi:10.1086/420540
- /5/ Lowry, D. (2012). Ecotypes and the controversy over stages in the formation of new species. *Biological Journal of the Linnean Society* 106(2). doi:10.1111/j.1095-8312.2012.01867.x

- /6/ Ohba, H. (1977). The taxonomic status of *Sedum telephium* and its allied species (Crassulaceae). Botanical Magazine (Tokyo), 90:41–56.
- /7/ Fuchsius, L. (1542). De Historia Stirpium commentarii insignes, ma ximis impensis et vigiliis sela Borati. Basileae, in oficina Isingriniana.
- /8/ Clusius, K. (1576). Rariorum aliquot stirpium per Hispanias observatarum Historia. Antverpy. Christophori Plantini Architypographi Regij.
- /9/ Linnaeus, C. (1753). Species Plantarum, exhibentes Plantas Rite Cognitas ad Genera relatas. Part 1. Stockholm. Laurentii Saluii.
- /10/ Lamarck, J. B. P. A. de M. de (1778). Flore française, ou Description succincte de toutes les plantes qui croissent naturellement en France: disposée selon une nouvelle méthode d'analyse, & à laquelle on a joint la citation de leurs vertus les moins équivoques en Médecine, & de leur utilité dans les Arts. Paris: Imprimerie Royale.
- /11/ Haworth, A.H. (1822). Saxifragearum Enumeratio. Londýn. Veneunt apud Wood.
- /12/ Ohba, H (1978). Generic and infrageneric classification of the old world sedoideae crassulaceae. Journal of the Faculty of Science University of Tokyo Section III Botany. 12 (4): 139–193.
- /13/ Grulich, V. (1984). Notes on the Czechoslovak species of the genus *Hylotelephium*. Preslia (Československá botanická společnost Praha) 56: 47–53.
- /14/ Grulich, V. (1984). Generic division of Sedoideae in Europe and the adjacent regions. Preslia (Československá botanická společnost Praha) 56: 29–45.
- /15/ Grulich, V. (1997). In S. Hejný & B. Slavík (Eds.), Květena České republiky 1 (2. vydání). Academia, Praha.
- /16/ Egli, U. (2005). Illustrated Handbook of Succulent Plants: Crassulaceae. Springer – Verlag Berlín a Heidelberg GmbH & Co. 2. edice 2005. ISBN 10: 3-540-41965-9, ISBN 13: 978- 3-540-41965-5.
- /16/ Gilman, I. S., Smith, J. A. C., Holtum, J. A. M., Sage, R. F., Silveira, K., Winter, K., & Edwards, E. J. (2023). The CAM lineages of planet Earth. Annals of Botany, 132(4), 627–654.
- /17/ Hartwell, J., Winter, K., & Gilman, I. S. (2023). The CAM lineages of planet Earth. Annals of Botany, 132(4), 627–654.
- /18/ Jarvis, P. G. (1976). The interpretation of variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B: Biological Sciences, 273(927), 593–610.
- /19/ Cowan, I. R. (1977). Stomatal behavior and environment. Advances in Botanical Research, 4, 117–228.
- /20/ Farquhar, G.D., von Caemmerer, S., & Berry, J. A. (1980). A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. Planta, 149(1), 78–90.
- /21/ Lawson, T. & Blatt, M. R. (2014). Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. Plant Physiology, 164(4), 1556–1570.
- /22/ Zhao et al., 2020 Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat. Water, 12(8), 2127. <https://doi.org/10.3390/w12082127>
- /23/ Bruggink, G. T. (1984). Effects of CO₂ concentration on growth and photosynthesis of young tomato and carnation plants. Acta Horticulturae, 162, 279–280. DOI:10.17660/ActaHortic.1984.162.32
- /24/ Medlyn, B. E., et al. (2002). Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. II. A review of experimental data. Plant, Cell & Environment, 25(9), 1167–1179.
- /25/ Lawlor, D. W. (2002) Limitation to Photosynthesis in Water stressed Leaves: Stomata vs. Metabolism and the Role of ATP. Annals of Botany, 89(7), 871–885
- /26/ Chen, F., Zhang, K., Yan, S., et al. (2025). Response of photosynthesis to light and CO₂ concentration in spring wheat under progressive drought stress. BMC Plant Biology, 25, 324. doi:10.1186/s12870-025-06355-7
- /27/ Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plant: stomatal and non-stomatal limitations revisited. Annals of Botany, 89(2), 183–189.
- /28/ Sperry, J. S. & Love, D. M. (2015). What plant hydraulics can tell us about responses to climate-change droughts. New Phytologist, 207(1), 14–27.
- /29/ Tai, X., Mackay, D. S., Sperry, J. S., Brooks, P., Anderegg, W. R., Flanagan, L. B., ... Hopkinson, C. (2018). Distributed plant hydraulic and hydrological modeling to understand the susceptibility of riparian woodland trees to drought-induced mortality. Water Resources Research, 54(7), 4901–4915.
- /30/ Horvath, B. (2014). The Plant Lover's Guide to Sedums. Timber Press. 2014, s. 230.
- /31/ Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., & Hnilíčková, H. (2010). The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? Photosynthetica, 48(4), 545–558.
- /32/ Benešová, M., Holá, D., Fischer, L., Jedelský, P. L., Hnilička, F., Wilhelmová, N., Rothová, O., Kočová, M., Procházková, D., Honnerová, J., Fridrichová, L., & Hnilíčková, H. (2012). The physiology and

- proteomics of drought tolerance in maize: Early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short term dehydration? PLoS ONE, 7(6), e38017.
- /33/ Osmond, C. B. (1978). Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. *Annual Review of Plant Physiology*, 29, 379–414.
- /34/ Winter, K. & Smith, J. A. C. (1996). Crassulacean Acid Metabolism: Biochemistry, Ecophysiology and Evolution.
- /35/ Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629–652.
- /36/ Gould, K. S. (2004). Nature's Swiss Army Knife: The Diverse Protective Roles of Anthocyanins in Leaves. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2004, 314–320.
- /37/ Hughes, N. M., Burkey, K. O., Cavender Bares, J., & Smith, W. K. (2012). Xanthophyll cycle pigment and antioxidant profiles of winter red (anthocyanic) and winter green (acyanic) angiosperm evergreen species. *Journal of Experimental Botany*, 63(5), 1895–1905.
- /38/ Nobel, P. S. (2009). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology* (4th ed.). Amsterdam: Elsevier/Academic Press. ISBN 978-0-12-374143-1.
- /39/ Gruber, K., Schöning, C., & Otte, M. (2013). Distinct subspecies or phenotypic plasticity? Genetic and morphological differentiation of mountain honey bees in East Africa. *Ecology and Evolution* 3(10). doi:10.1002/ece3.711

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu IGA 6/2016/591: Ověření možného využití metody ITS (Internal Transcribed Spancer) na modelové skupině vybraných taxonů v subtribu Telephinae.

RŮZNÉ STYLY OŠETŘOVÁNÍ PŘÍKMENNÉHO PÁSU VE VINICI A JEHO VLIV NA KVALITU ROSTLIN A HROZNŮ

DIFFERENT STYLES OF UNDER-VINE MANAGEMENT IN THE VINEYARD AND ITS EFFECT ON PLANT AND GRAPE QUALITY

Radek Sotolář¹, František Hnilička², Tomáš Rýgl², Lubomír Lampíř², Oldřiška Sotolářová¹, Richard Danko¹, Tereza Holcmannová¹, Lukáš Jan³

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, rygl@af.czu.cz

³ Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu, v.v.i., Drnovská 507/73, 161 06 Praha 6 – Ruzyně, jan.lukas@carc.cz

Summary

The study was focused on evaluating the influence of different methods of treating the trunk strips in the vineyard: mechanical, chemical methods and various covers such as mulch, textiles and 3 different greening (i.e. 7 variants). Environmental, uvological and analytical factors were monitored and evaluated, including some selected effects on the vineyard habitat. From an ecological point of view, the best variants were those with plant cover (greening). According to the highest yield, variants with greening with a mix of clovers, organic mulch and also herbicide strip. The variant with mulch achieved the highest content of assimilable nitrogen in grapes, the variant with greening with a mix of clovers had the highest sugar content, and the variant with natural greening had the highest acid content. However, variants with greening of vineyard under-vine floor management with creeping clover and the variant with textiles showed optimal parameters for most of the monitored characteristics. From the perspective of high summer temperatures under the bushes and thus also in the grape zone, variants without vegetation (textiles, herbicide belt and swinging section) are less suitable, while variants with greenery significantly reduce these temperatures.

Key words: under-vine area, Ravaz index (RI – balance of growth and fertility), grape area, yield, surface temperature

Souhrn

Studie byla zaměřena na hodnocení vlivu různých způsobů ošetřování příkmenných pásů ve vinici: mechanický, chemický způsob a různé pokryvy jako mulč, textilie a 3 různé ozelenění (tj. 7 variant). Byly sledovány a hodnoceny faktory environmentální, uvologické, analytické. Z ekologického hlediska vycházely nejlépe varianty s pokryvem. Dle nejvyššího výnosu pak varianty s ozeleněním mixem jetelovin, organický mulč a využití herbicidního pásu. Nejvyšší obsah asimilovatelného dusíku v hroznech dosáhla varianta s mulčem, nejvyšší cukernatosti pak varianta s ozeleněním mixem jetelovin, nejvyšší obsah kyselin pak měla varianta

s přirozeným ozeleněním. Optimálních parametrů u většiny sledovaných charakteristik však vykazovaly varianty s ozeleněním příkmeného pásu jetelem plazivým a varianta s textilií. Z pohledu vysokých letních teplot pod keři a tím pádem i v zóně hroznů se jako méně vhodné ukazují varianty bez porostu (textilie, herbicidní pás a výkyvná sekce), naopak varianty s ozeleněním tyto teploty výrazně tlumí.

Klíčová slova: příkmený pás, Ravazův index (RI), zóna hroznů, výnos, teplota povrchu

ÚVOD

Jedním z cílů ekologického vinohradnictví je produkce kvalitních plodů (hroznů) a vína s minimálním použitím pesticidů, podpora biodiverzity vinice a zdraví půdy v ní, čili jde o to minimalizovat dopady na životní prostředí, využíváním přírodních procesů a materiálů. Tento způsob hospodaření je regulován nařízením EU (Nařízení Rady EC č. 834/2007) a je pod dohledem kontrolních organizací, které zajišťují dodržování těchto pravidel /1/. Mezi tyto pravidla patří i péče o půdu a půdní pokryv ve vinicích, tj. porost v meziřadí a v příkmeném pásu vinice. Při údržbě příkmeného pásu, vinaře donedávna zajímala jen nákladovost a kvalita odvedené práce. Dnes zvažujeme i udržitelnost opatření a ekologické dopady zvoleného řešení /2/. Historicky převládal jen mechanický způsob obdělávání pásu pod keři motykou, posléze pomocí mechanizačních prostředků s použitím výkyvné nožové či diskové sekce. V době nedávne u nás dominoval i chemický způsob pomocí herbicidů půdních či listových (glyfosáty) /3, 4/. V současnosti, zejména u ekologických směrů pěstování révy (IP, Ekoprodukce, Biodynamická produkce) se uplatňují více různé fyzikální způsoby ošetřování příkmeného pásu (zejm. proti plevelům) jako použití horké vody, elektrického proudu či různých pokryvů jako sláma, tráva, štěpka, kůra, textilie, šterk nebo speciální ozeleňovací směsi /5, 6, 7, 8, 9/. Právě vhodné ozeleňovací směsi by do budoucna měly nahrazovat běžně používanou mechanickou kultivaci (nožové výkyvné sekce) či chemické metody (použití herbicidů) /10/.

Nicméně z pohledu nákladovosti sledovaných typů ošetřování příkmeného pásu vychází velmi dobře zejména chemické metody, které jsou z hlediska odstraňování, a hlavně potlačování, růstu plevelů výrazně lepší než mechanické způsoby /11/. U půdních herbicidů stačí jen jedna aplikace ročně (zjara), u listových dvě (druhá koncem léta), kde účinek je dlouhodobý a širokospektrální. Chemicky udržovaný příkmený pás je sice bez plevelů, ale jen dočasně /12/. Postupem času zde dochází k selekci úpornějších vytrvalých plevelů (pýr, třtina, přeslička..) a je potom nutné přípravky střídát a kupovat stále dražší, které sice „na oko“ zaberou, ale ještě více zatěžují okolní prostředí svými rezidui a omezením biocenózy (flóry a následně i fauny) nejen daného prostoru pod keři. Dalším negativem bývá vznik vodní i větrné eroze a pomalá degradace půdy (bez porostu nevzniká humus)/13, 14/. Soudobé studie zabývající se vlivy různého ošetřování příkmených pásů ve vinicích již rozporují jednoznačný vliv používání herbicidů na zvýšení výnosu /15/. Také vliv na vyšší cukernatost hroznů je diskutabilní a nebyl dosud jednoznačně prokázán /12/. V posledních horkých letech se plochy bez porostu ve vinicích ukazují také jako méně vhodné řešení, neboť se tím zvyšuje teplotní stres vyvolaný odrazem záření od země, akumulace tepla a jeho uvolňování přes noc, což vede k dalšímu zvyšování mikroklima vinice. Stresové faktory vyvolané vlnou veder vedou k poškození fotosyntetického aparátu, oxidativnímu stresu a negativnímu ovlivnění kvality

hroznů /8, 10/. S tím také souvisí snaha omezovat chemizaci v zemědělství /1/. Nově se tak do popředí zájmu dostávají speciální ozeleňovací směsi pro příkmené pásy vinic/10/.

Jedná se o speciální směsi s převahou méně vzrůstných druhů travin a jetelovin s úzkým listem pro co nejmenší konkurenci révě s živinami a vodou /7/. Moderních směsích dominují vikvovité druhy, které díky symbióze s hlízkovitými bakteriemi neodčerpávají tolik živin a tím méně vyčerpávají půdu. Z travin se jedná spíše o lipnici, kostřavy či psineček, které brzy raší a brání tak šíření rychle rostoucím plevelům, ale postupem času se vytrácejí díky tlaku ostatních pomaleji se vyvíjejících druhů ve směsi (zejména jetele). Dostatečně hustý podrost brání přehřátí vinice (tlumí teplotu) a omezuje růstu plevelů /7, 10, 16/.

MATERIÁL A METODY

Pokus navazuje na předchozí studii IGA-ZF/2021-ST2001 - Hodnocení ekosystémových služeb vegetace v trvalých kulturách /15/. Pokus proběhl na pokusné vinici ZF MENDELU v Lednici (trať Na valtické) v roce 2021-2024 (založeno roku 2021, hodnoceno v roce 2022/24 po zapojení porostů ozeleňovacích směsí). Jednotlivé keře odrůdy Tramín červený byly vysázeny ve sponu 2,20 x 0,9 m v roce 2014 (stáří 10 let – mladé keře), na středním rýnsko-hessenském vedení s vodorovně vyvázanou tažní. Pro analytická data byla využita vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC Shimadzu), kde byl standardním způsobem stanoven obsah zkvasitelných monosacharidů v moštu (glukóza + fruktóza) a konkrétní obsah jednotlivých hlavních kyselin vinného moštu (tj. kyselina vinná, jablečná a citronová). Celkový obsah kyselin v moštu byl stanoven klasicky titračně. Pro určení cukernatosti moštu byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity závěsné digitální váhy a laboratorní digitální váhy značky Kern. Pro měření teplot byl použit pyrometr (infrarot-digitální termometr) GIM 1840/5T25XB. Pro získání spektrálních fotografií s naměřenými hodnotami byl použit byla použita termokamera FLIR vybavena modulem Lepton LWIR Micro doplněná technologií MSX (Teledyne FLIR). Tato technologie disponuje v ohniskové rovině teplotním rozlišením 80x60 aktivních pixelů a pracuje v definovaném rozsahu teplot -20 °C až +120 °C. Infračervená kamera dlouhých vlnových délek (LWIR) pracuje v rozsahu vlnových délek 8,0 - 14,0 μm. Analýza se uskutečnila pomocí softwaru MyFLIR (dodává výrobce čipu firma FLIR Systems, Inc). Ekologické (biotopní) srovnání bylo hodnoceno dle metodik Šindelková a kol./5/, Walg a kol. /12, 35/, Ragasová a kol. /17, 18/ a Winkler a kol. /19/.

Stručný popis jednotlivých pokusných variant s ošetřováním příkmeného pásu:

- Chemicky pomocí herbicidu Touchdown Quattro (aplikace 2 ročně, jde o neselektivní systemický listový herbicid s účinnou látkou glyfosát, určený proti širšímu spektru i víceletých plevelů jako pýr či pcháč, je klasifikován jako nebezpečný pro životní prostředí svou toxicitou pro vodní organismy)
- Mechanicky pomocí hydraulické nožové výkyvné sekce (aplikace 3x ročně, model Standard firmy Ostratický)
- Instalací netkané textilie (černá mulčovací textilie NT50BK 16100 firmy Agrotex s UV stabilizací)
- Pokryvem travního mulče (sekačkou posekaná tráva o výšce mulče 40 cm)
- Využití ozelenění monokulturou jetele plazivého (odrůda nízko rostoucí Barbarian)

- Využití ozeleňovací směsi s mixem jetelovin (dominantní druhy jsou: jetel plazivý odr. Barbarian, tolíce dětelová odr. Ekola a úročník bolhoj odr. Rubra; doplňující pak jetel zvrhlý, jetel rolní, jetel pochybný, štirovník růžkatý a jestřábníky chlupáček a oranžový)
- Využití přirozeného pokryvu (přirozené zaplevelení)

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z hlediska nákladovosti ošetřování příkmeného pásu vychází opravdu velmi dobře chemické metody, které jsou z hlediska odstraňování, a hlavně potlačování, růstu plevelů výrazně lepší než mechanické způsoby. Bohužel však často vzniká rezistence plevelů na používanou účinnou látku nebo dokonce nemusí na některé plevele dostatečně působit (přeslička, pýr) /11/. I v této studii byl prokázán nedostatečný účinek přípravku Touchdown na pýr plazivý.

Mechanický způsob pomocí nožové výkyvné sekce je mnohem méně účinný a je třeba porost plevelů likvidovat vícekrát, viz. výsledky i této studie. Zejména husté porosty (např. ježatky) se již obtížně odstraňují a často znova dále rostou /11/. Také nakypřená půda po kultivaci svědčí vyrašení a růstu dalším plevelům. Proto je nutné kultivaci provádět opakovaně a tím pádem se i zvyšuje spotřeba paliva a emisí /3, 12/. Na rozdíl od chemie se ale půda prokypřuje, což má vliv na stimulaci mineralizace a příjem vody, tím i na dynamiku živin a vodní bilanci. Bohužel však může vést k rychlejšímu vyčerpání živin z půdy /12/.

Ukazuje se, že relativně dobře si vedou i některé způsoby s pokryvem, zejména netkaná textilie (popř. textilie + šterk). Zde jsou jen vyšší náklady na pořízení a instalaci. Řešení je to však dlouhodobé, navíc v kombinaci s kačirkem se vytváří velmi dobré vlhkostní mikroklima a zvyšuje diverzita živočichů /2/. Nejméně vhodným řešením se zdá být mulčování, ačkoli náklady jsou nízké, omezení jednoletých plevelů vysoké, podpora dynamiky živin i vodní bilance je dobrá, přesto zde z dlouhodobého hlediska vznikají rizika. Zejména tvorba rosných kořenů, selekce vytrvalých plevelů (pcháč, pýr), kumulace hrabošů (sekundární poškození kořenů) a zvýšené množství dusíku v době zrání často podporuje hnilobu hroznů a jejich vyšší pH (proto se doporučuje jen jednou za 6 let) /2, 15/. Po ukončení pokusu měla varianta s mulčem nejvyšší RI, značící nerovnováhu mezi růstem a plodností, čili horší vitalitu rostlin, vedoucí později až k vyšší úmrtnosti testovaných keřů. Navíc se místy objevilo i prorůstání podnoží.

Ozeleňovací směsi pro příkmené pásy (málo vzrůstné rostliny) mohou být také velmi zajímavou volbou. Jedná se o speciální směsi s převahou méně vzrůstných druhů travin a jetelovin s úzkým listem pro co nejmenší konkurenci révě s živinami a vodou /6, 7, 8/. Dnes již existují vyselektované drobnější odrůdy travin i leguminóz /2/. Jde o přirozenou konkurenci plevelům s podporou vyšší diverzity a nízkým vlivem na faunu a floru ve vinicích. Jejich nevýhodou je však jejich pořizovací cena a občasné kosení (dle nutnosti). Při velmi suchém létě, kdy má réva problém se zásobováním vody, vzniká díky podrostu konkurence o vodu a živiny a může to vést naopak až ke snížení kvality hroznů, výnosu i vitality keře /8/. Toto se nepotvrdilo, viz. výsledky tab 2.

Z hlediska kvality provedení není žádný způsob úplně dokonalým. U všech metod existují různá omezení při jejich možnosti použití /2/. V případě chemických metod jde o právní předpisy omezující jejich používání + možné poškození keřů úletem, u výkyvné sekce zas topografické a půdní podmínky znemožňující plné využití, dochází k poškození borky i kmínků. Pokryv

mulčem či netkanou textilií zase podporuje růst rosných kořenů, ozelenění nezabraňuje plně šíření některých vytrvalých plevelů.

Tab.1: Sledované typy ošetření příkmeného pásu a jejich vliv na různé ekologicky zaměřené faktory (2022-24)

	Chemický způsob - herbicid	Mechanický způsob - výkvná sekce	<i>ozeleňovací směs</i>	Různé pokryvy travní mulč	<i>netkaná textilie</i>
Náklady – počet aplikací	1-2x/nízké	2-5x/střední	2x střední až vyšší (kosení)	1x nízké (navážka)	1x nízké až střední (instalace)
Kvalita práce (redukce plevelů)	dobrá (selekce rezist.plevelů)	dobrá (selekce hluboce kořenících)	dobrá (selekce vytrvalých)	dobrá (selekce vytrvalých)	velmi dobrá
Poškození keřů	možné (úlet, vyšší koncentrace)	možné (nerovné kmínky)	není	možné (hraboši)	není
Vliv na půdní strukturu	nízký	střední (kypření)	vyšší	vyšší	nízký
Vliv na absorpci vody	nízký	střední (prokypření – větší plocha)	vyšší	vyšší	nízký
Vliv na evaporaci (výpar z půdy)	vyšší (chybí přistínění porostem)	střední (zvyšuje se likvidací plevelů)	nižší	nižší	nižší až střední (dle barvy textilie)
Vliv na živiny	nízký	nízký	střední	vyšší	nízký
Vliv na vznik eroze	vysoký	střední (částečný pokryv)	nízký (pokryv)	nízký (pokryv)	nízký (pokryv)
Vliv na emise	nízký (pojezdy)	střední (pojezdy)	nízký	střední (rozklad)	nízký
Vliv na flóru (její omezení)	vysoké	střední až vyšší	nízké	vysoké	vysoké
Vliv na faunu (její omezení)	vysoké	střední až vyšší	nízké	střední	střední až vyšší
Vliv na výnos	vysoký	střední	vysoký	vyšší	vyšší

*sestaveno dle Walg 2022

Velmi zajímavě vycházelo i uvologické a výnosové srovnání jednotlivých variant. Nejvyšší koeficient plodnosti, jenž představuje vyjádření plodného potenciálu révového keře v daném roce, dosáhly varianty s ozeleněním příkmeného pásu jetelovinami (1,75 – 1,92). Konkrétně tedy tento koeficient vyjadřuje poměr všech (nejen sklizených) hroznů ku počtu plodných letorostů na keři a hodnoty nad 1,7 pak představují KP velmi vysoký, což představuje téměř 2 hrozny na letorost. Koeficient plodnosti ovšem úplně nesouvisí s výnosem, neboť čím více je hroznů na keři, tím jsou obvykle i menší (méně hmotné) a celkově tak může být sice více hroznů na keři, tedy velmi vysoký koeficient, ale výnos nemusí být nutně vysoký. Nejvíce letorostů pak měla varianta s využitím herbicidního pásu (10,55 ks) a následně opět varianty s ozeleněním jeteli (10,51 – 10,52 ks). Nejvíce hroznů na keři měly opět varianty s jeteli (18,39 – 20,21 ks) a varianta s textilií (16,31 ks). Případnou bujnost růstu keřů lze stanovit i průměrnou šířkou výhonu měřenou dole u tažně (měřit délku výhonu není možné kvůli osečkování v létě

a na podzim), kde vyšších hodnot dosahovaly varianty s ozeleněním jeteli, textilií a mulčem, čili varianty s podporou dynamiky dusíku (všechny nad 1 cm).

Tab.2: Uvologické a výnosové charakteristiky jednotlivých variant ošetřování příkmeného pásu (prům. hodnoty z let 2022-24)

Parametry	Herbicide	Výk.sekce	Mono-kultura jetele	Mix jetelů	Přirozené zaplevelení	Organický mulč	Netkaná textilie
Prům. počet hroznů na keř (ks)	15,98	15,37	20,21	18,39	17,92	14,55	16,31
Prům. počet letorostů na keř (ks)	10,55	10,41	10,51	10,52	10,00	10,11	9,99
Koeficient plodnosti	1,51	1,48	1,92	1,75	1,79	1,44	1,63
Prům.hmotnost hroznů na keř (kg)	2,53	2,52	2,44	2,66	1,77	2,49	2,39
Prům.hmotnost ořez. réví (kg)	0,39	0,39	0,39	0,37	0,38	0,36	0,40
Ravaz index (plodnost/růst)	6,49	6,46	6,26	7,19	4,66	6,92	5,98
Prům. šířka výhonu u báze (cm)	0,91	0,92	1,05	1,04	0,88	1,01	1,04
Prům.hmotnost hroznu (g)	162,16	112,69	122,33	155,87	107,54	173,68	139,50
Prům.hmotnost bobule (g)	1,10	0,97	0,98	1,11	0,99	1,42	0,77
Prům.hmotnost třapiny (g)	6,84	6,78	5,95	9,69	5,21	9,45	9,17
Prům. počet bobulí v hroznu (ks)	154,11	122,42	117,07	173,25	114,84	161,64	188,12
Předpokládaný výnos (t/ha)	12,47	9,01	12,08	13,91	8,66	12,33	11,48
Skutečný výnos (t/ha)	9,5	7,03	9,11	10,43	6,68	9,36	9,01
Ztráty výnosu (t/ha)	2,97	1,98	2,97	3,48	1,98	2,97	2,47

*Ztráty na výnosu představují poškozené bobule zejména plísňí šedou a seschlé bobule

Průměrná hmotnost hroznů sklizených z jednoho keře, nutná pro výpočet výnosu, dosahovala vyšších hodnot nad 2,35 kg u variant s ozeleněním jeteli, herbicidního pásu, výkyvné sekce a mulčovaným pásem. Nejvyšší průměrnou hmotnost hroznu měla varianta s mulčem (173,68 g), následovaná variantami s herbicidem (162,16 g), textilií (139,50 g) a ozeleněním mixem jetelovin (155,87 g). Nejvyšší hmotnost bobule měly opět varianty s mulčem (1,42 g), herbicidem (1,10 g) a ozeleněním mixem jetelovin (1,11 g). Nejvyšší

hmotnost třapiny měly varianty s ozeleněním mixem jetelovin (9,69 g), mulčem (9,45 g) a textilií (9,17 g). A konečně nejvyššího výnosu dosáhla varianta s ozeleněním mixem jetelovin, tj. 10,43 t/ha, ovšem také s největší ztrátou (poškození hroznů) 3,48 t/ha. Všechny varianty dosáhly výnosu středního (za vysoký výnos považujeme až hodnoty nad 11 t/ha). Výsledky tak nepotvrzují obecné tvrzení, že varianty s herbicidním pásem dosahují vyšších výnosů /20/.

Důležitým ukazatelem optimálního hospodaření se ukazuje tzv. Ravazův index (či také Koeficient využitelnosti réví). RI demonstruje rovnováhu mezi plodností a růstem keře v daném roce. Tento index představuje obecně poměr reproduktivního oproti vegetativnímu růstu. Vychází z optimálního poměru mezi výnosem, růstem keře a kvalitou hroznů. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr hmotnosti hroznů ku ořezanému réví z jednoho keře (plodnost/řez) /21/. Propagátorem této koncepce byl Louis Ravaz (1863-1937) již na počátku 20. století (1903). Optimální hodnoty Ravazova indexu jsou 5-7, a tyto hodnoty představují tedy optimální růst a plodnost révového keře /22, 23/. Hodnoty v optimu vykazovaly téměř všechny varianty, vyjma přirozeného ozelenění (zaplevelení) s hodnotou nízkou 4,66 (představující malé hrozny s nízkou hmotností) a naopak hodnotou vyšší 7,19 u varianty ozelenění mixem jetelovin (představující vyšší plodnost, tj. větší počet hmotnějších hroznů na keři). Vliv na optimální hodnoty indexu má však také tloušťka réví, častější eliminace zálistků a osečkování nebo právě i sama velikost hroznů. Za přijatelné je tedy možno považovat i hodnoty 3-10 (zejména u PIWI odrůd) a v tomto rozmezí se tedy nacházely i zmiňované dvě varianty. Získané výsledky jen potvrzují data z předchozí studie /15/.

Mezi parametry využitelné kvasinkami při procesu kvašení řadíme tzv. asimilovatelný dusík (YAN). Přirozený výskyt asimilovatelného dusíku v hroznech je 100 – 500 mg/l /24/ a je nezbytný pro rozmnožování a činnost kvasinek, přičemž ideální koncentrace je v rozmezí 190 – 200 mg/l. Tuto hranici nejlépe splňují varianty s ozeleněním jeteli a mulč (YAN 201,5 – 218,7 mg/l). Obdobně je pro činnost kvasinek potřebný obsah monosacharidů (fruktózy a glukózy), kde zdravé a dobře vyžralé bobule dosahují hodnot 200 – 250 g/l. /24/. Cukry zvyšují plnost, texturu a extrakt výsledného vína (tvoří sladkou chuť i kvalitu vína - vytváří se alkohol); nízký stav těchto cukrů naopak snižuje výsledný alkohol, ve víně dominuje hořkost a kyselost /25/. Všechny pokusné varianty dosáhly optimální cukernatosti (min. 21°NM) a zkvasitelné cukry byly v hodnotách 210,7 – 244,9 g/l. Nejvíce kyselin bylo naměřeno u varianty s přirozeným ozeleněním pomocí náletů plevelů, konkrétně 5,91 g/l. Nejvyšší pH bylo zaznamenáno u varianty s mulčovaným příkmeným pásem – 3,86 (velké bobule s vyšším obsahem dusíku byly náchylnější na praskání a poškození houbovými chorobami). I tyto výsledky víceméně potvrzují data z předchozí studie /15/, rozdíl byl v nárůstu cukernatosti a poklesu kyselin u varianty s chemicky udržovaným příkmeným pásem (v roce 2024 dosáhla varianta nejvyšší cukernatosti).

Dostatek světelných paprsků je během vegetace důležitý pro správný průběh fotosyntézy. Optimální teplota pro průběh fotosyntézy se pohybuje v rozmezí od 25 do max. 35 °C /26/. **Při dlouhodobém nadbytku světelného záření dochází k přehřátí rostlin a jejich poškození vysokou teplotou.** Často se objevují i příznaky chlorózy na listech spojené s nedostatečnou výživou /27/; dále se snižuje i kvalita dozrávajících hroznů a vyžrání jednoletého dřeva /28/. Při velmi vysokých teplotách fotosyntéza neprobíhá kvalitně a dochází k negativnímu ovlivnění fyziologických procesů v rostlinách. Metabolické děje mohou být silně zpomaleny a nevratně

poškozena může být i enzymatická aktivita. V bobulích modrých odrůd dochází při teplotách nad 35 °C k zastavení tvorby antokyanových barviv.

Tab.3: Analytické parametry moštů u jednotlivých variant ošetřování příkrmenného pásu (prům. hodnoty z let 2022-24)

Přístrojové vybavení	Měřené parametry	Herbicide	Výkyv. sekce	Mono-kultura jetele	Mix jetelů	Přiroz. zaplevelení	Org. mulč	Textilie
Miura	Asimil.dusík (mg/l)	162,3	119,9	201,5	214,8	112,4	218,7	152,2
HPLC	Zkvas.cukry Glu+Fru (g/l)	194,3	227,3	216,1	244,9	212,9	210,7	232,5
Refraktometr	Cukernatost hroznů (°Bx)	23,4	23,8	22,1	24,0	22,1	22,9	23,9
Moštoměr	Cukernatost moštu (°NM)	22,2	22,7	21,3	23,5	21,3	21,7	23,4
Titračně	Kyseliny celkové (g/l)	4,55	4,23	4,22	4,68	5,91	4,18	4,70
HPLC	Kyselina vinná (g/l)	6,65	7,49	7,49	6,28	6,21	7,03	7,28
HPLC	Kyselina jablečná (g/l)	1,13	0,63	0,75	1,29	1,06	1,65	0,82
HPLC	Kyselina citronová (g/l)	0,15	0,10	0,10	0,11	0,13	0,15	0,10
pHmetr	pH moštu	3,55	3,76	3,57	3,68	3,58	3,86	3,47

*Tučně jsou vždy zvýrazněny nejvyšší či optimální hodnoty

Poškození na hroznech se objeví většinou do 24 hodin a po 5–10 dnech působení těchto extrémních podmínek (může docházet až k odumření třapiny). Jakmile překročí teplota vzduchu 35 °C po vícero dnů po sobě, lze předpokládat, že úplná exponovanost hroznů je výrazně škodlivá /29/. Jak již bylo řečeno výše teplotu povrchu bobulí ovlivňuje mnoho faktorů. Tato studie se zaměřila především na teplotu hroznů a teplotu povrchu pod keři, neboť ta má vliv i na samotnou teplotu bobule /16/. V posledních letech nesklízíme hrozny striktně podle dosažené cukernatosti, jak tomu bývalo dříve, ale spíše podle množství kyselin. Potřebnou cukernatost pro kvalitní suchá vína (cca 21 °NM pro bílá a 24 °NM pro červená vína) není již problém každoročně dosáhnout, spíše je tomu naopak, kdy cukernatost hroznů bývá značně vyšší a nuceně tak vyrábíme vína sladká. Proto je nutné hrozny spíše „podtrhnout“ a sbírat při optimální cukernatosti s dostatečnou kyselinou. Tropické teploty během dozrávání však mohou způsobit až úžeh či úpal bobulí – vada vína tzv. UTA (atypické stárnutí vína) /28/. Nejvíce tropických dnů a nocí (teploty nad 30 °C, respektive 20 °C) bylo zaznamenáno v letech 2003, 2018 a právě 2024 koncem srpna a zač. září /30, 31/.

Teplota hroznů zhruba kopírovala teplotu vzduchu, ale byla cca o 10 °C vyšší (díky rozplývavé dužnině plné cukrů – koncentraci monosacharidů v bobulí).

Teplota pod keři byla silně závislá od porostu příkrmenného pásu; místa bez vegetace měla teplotu až 55,9°C, se zelenou vegetací pak průměrně 30,6 °C. Tato teplota má zásadní vliv na inhibici nočního radiačního ochlazování a uvolňování latentního tepla Země, což se následně

projevuje vysycháním půdy a snížením vlhkosti nad úrovní půdy a porostu v meziřadí /16/. Dále se také snižuje relativní vlhkost vzduchu porostu a dochází ke změnám mikroklimatu porostu, kdy v něm narůstá teplota za snížení vlhkosti vzduchu /26/. Uvedené skutečnosti vedou ke změnám v metabolismu rostlin a také k rozvoji chorob /28/.

Tabulka 4: Zaznamenané průměrné teploty hroznů během dne 4.9.2024 u jednotlivých variant

Varianta	8:00 hod.	10:00 hod.	13:00 hod.	16:00 hod.	18:00 hod.
Herbicide	25,61	39,88	42,33	44,81	43,49
Výkyvná sekce	24,94	38,65	42,12	44,08	43,33
Monokultura jetele	22,97	25,58	32,28	39,32	38,44
Mix jetelovin+jestřábník	21,92	24,93	32,15	39,12	38,25
Přirozené zaplevelení	22,97	35,21	32,91	39,89	38,99
Organický mulč	24,21	28,91	39,12	41,04	40,25
Textilie	29,88	40,03	43,77	44,32	44,09

Tab 5: Zaznamenaná průměrná teplota povrchu půdy/porostu/mulče/textilie pod keři dopoledne 4.9.2024 (čas: 9:30; teplota vzduchu byla 25,5 °C).

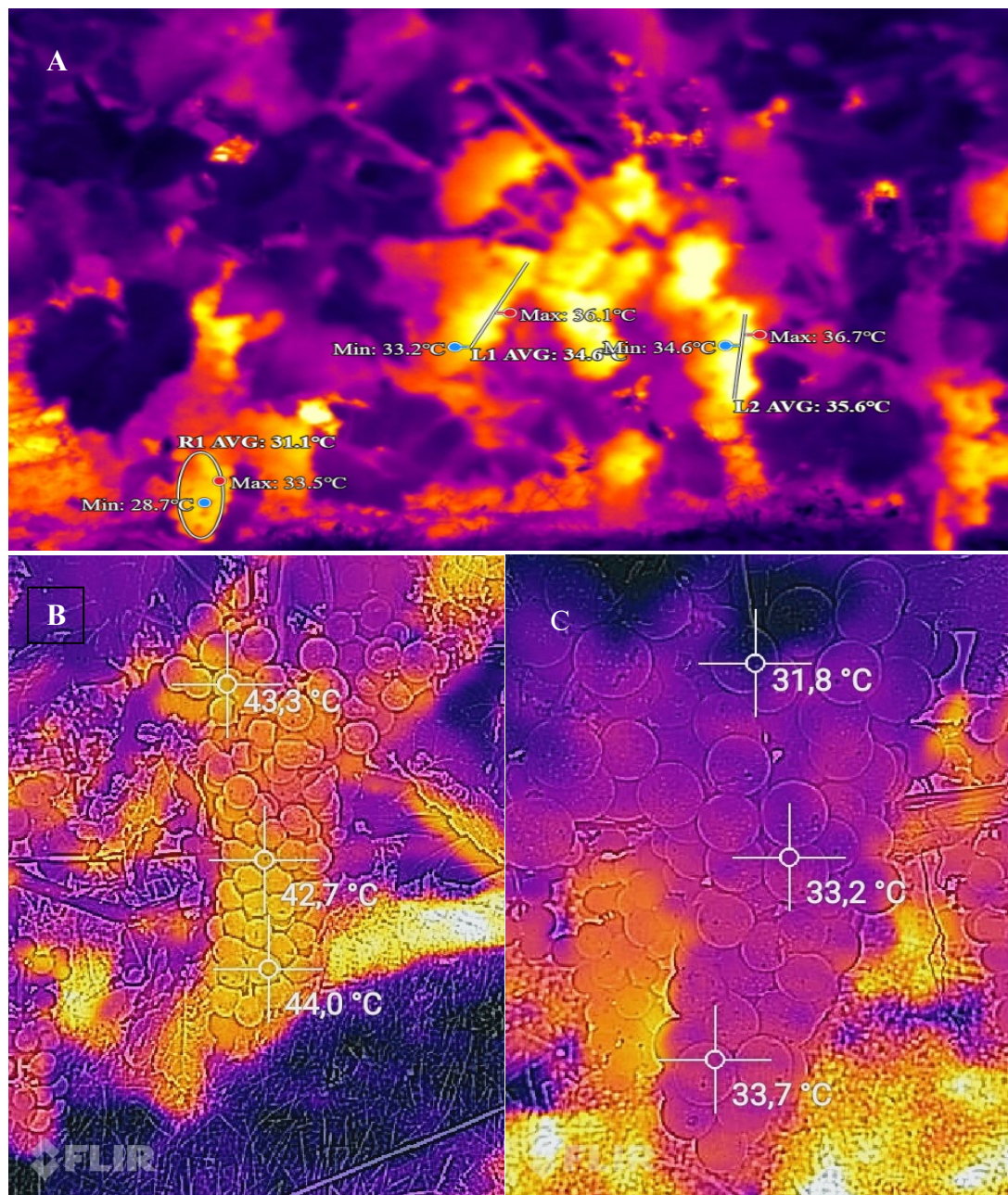
Varianta	10-18 hod.
Herbicide	51,86
Výkyvná sekce	49,03
Monokultura jetele	30,01
Mix jetelovin+jestřábník	29,73
Přirozené zaplevelení	31,90
Organický mulč	43,85
Textilie	55,99

Tabulka 6: Základní analytické parametry sledovaných hroznů (4.9.2024)

Varianta	pH	Cukernatost (°NM)	Kyseliny (titračně g/l)	Asimilovatelný dusík (mg/l)
Herbicide	3,44	22,50	8,01	211,99
Výkyvná sekce	3,31	22,35	8,79	226,52
Monokultura jetele	3,26	20,1	8,69	189,99
Mix jetelovin+jestřábník	3,25	20,0	8,72	192,15
Přirozené zaplevelení	3,04	21,55	9,08	252,01
Organický mulč	2,98	20,05	9,18	286,55
Textilie	3,65	23,17	7,15	169,78

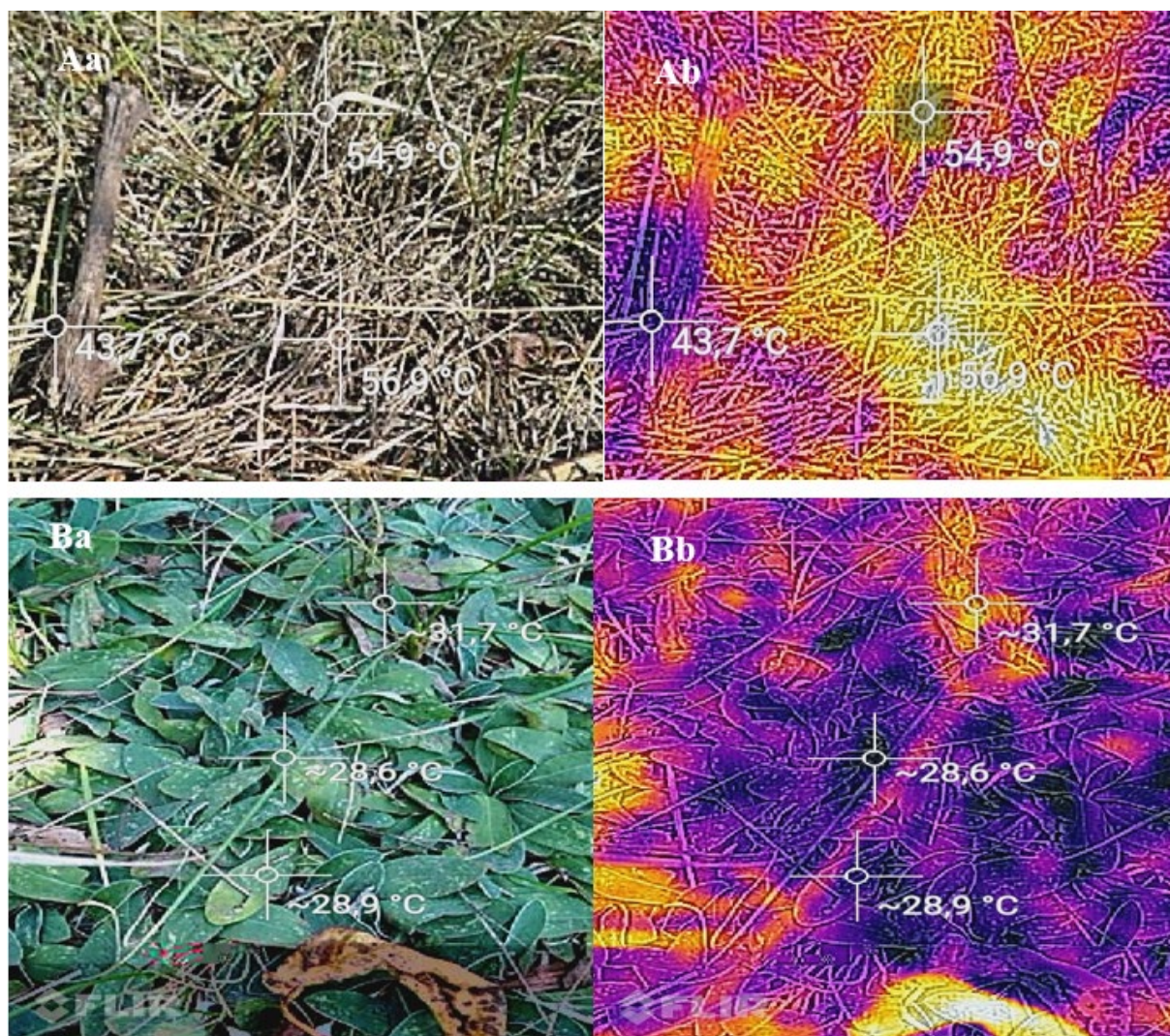
Rostliny transpirují, aby se ochladily a tím dochází k negativní vodní bilanci rostlin, tedy rostliny přes noc nejsou schopny obnovit turgor. Snížení turgoru se následně projevuje omezením fotosyntézy, kdy jsou průduchy částečně nebo zcela uzavřeny. Vzhledem k oteplování meziřadí se posunuje teplota rosného bodu, čímž dochází k omezené tvorbě horizontálních srážek (rosy) a tím se hůře nasycuje vrchní vrstva půdy, v níž se tvoří rosné kořeny révy. Z globálního hlediska dochází k menší tvorbě oblačnosti, čímž se zvyšuje

množství dopadajícího slunečního záření na povrch půdy a porost, a ke změnám vzestupných tepelných proudů, včetně poměru dopadajícího krátkovlnného a dlouhovlnného záření na povrch. Z tab.6 je zřejmé, že teplota povrchu pod keří následně ovlivňuje teplotu hroznů – vyšší cukernatost zaznamenaná u variant bez pokryvu (herbicidní pás a výkyvná sekce) a textilie, ale právě vlivem těchto teplot bobule rychleji sesychaly. Ovšem vyšší cukernatost hroznů v současnosti již není ukazatel kvality /16/. Stále lze souhlasit s tvrzením, že kvalita vína se rodí ve vinici /32/, ale právě proto je nutné znát dobře všechny faktory dané vinice, které ovlivňují kvalitu hroznů.



Obr. 1: Termosnímky zachycující průměrné teploty hroznů sledovaných řad (varianta výkyvná sekce) dopoledne dne 4.9.2024 (čas: 9:30; teplota vzduchu byla 25,5 °C). Legenda: A – celkový pohled na zónu hroznů (max/min teploty); B – naměřené teploty hroznů na osluněné straně řádku; C – teploty hroznů na zastíněné straně řádku

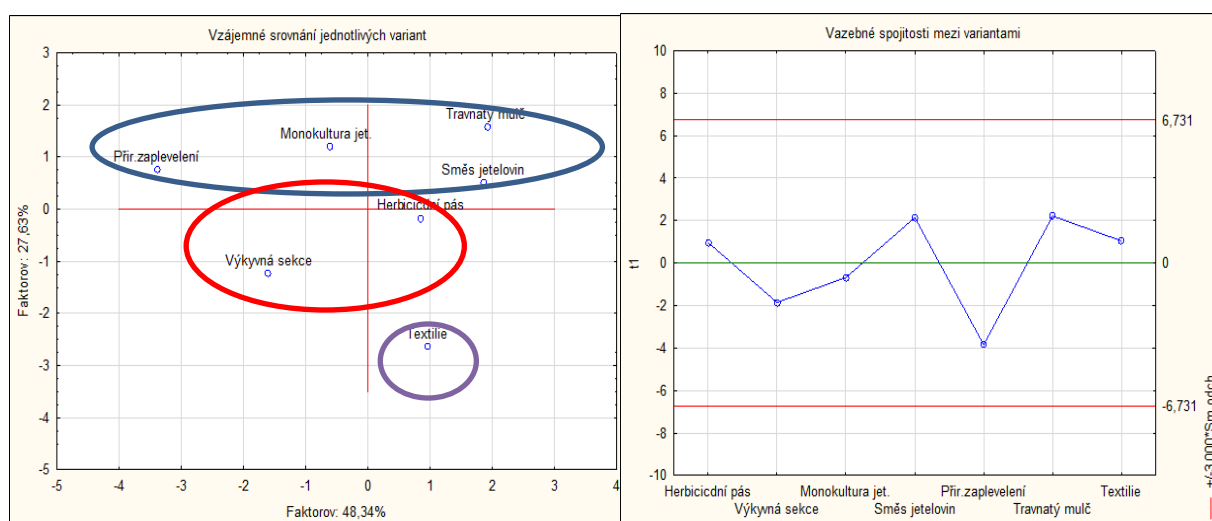
Obrázek 1 demonstruje teploty osluněného hroznů z exponované strany řádku v poledne (teplota vzduchu byla 33 °C) s průměrnou teplotou 43,35 °C, tj. o 10,35 °C vyšší než teplota vzduchu, což je v souladu s tvrzením Pavlouška /33/, že teploty osluněných hroznů bývají cca o 10 °C teplejší než teplota vzduchu. Hrozny z druhé dosud přistíněné strany řádku vykazovaly průměrnou teplotu 32,75 °C, v podstatě v souladu s teplotou vzduchu. Je zajímavé, že nejvyšší teploty byly zaznamenány na špičce hroznů (nejníže postavené bobule), ačkoli tyto bobule se vyvinuly s nejpozději kvetoucích kvítků. Nicméně tyto bobule jsou nejbližší zemi, kde bývá teplota nejvyšší (nejnižší teplota byla naměřena nahoře na zálistcích prům. 40,1 °C, střed keře měl pak 43,5 °C a půda pod keři měla 55,9 °C).



Obr. 2: Termosnímků zachycující teploty dnes nejběžnějších povrchů pod keři révy u 2 sledovaných variant - běžně používané výkyvné sekce a novější směsi s jeteli a ještřábníkem dopoledne dne 4.9.2024 (čas: 9:30; teplota vzduchu byla 25,5 °C). Legenda: Aa/Ab – detail téměř suchých travin a teplot (max/min) pod keři u výkyvné sekce na reálném a termosnímku; Ba/Bb – detail max/min teplot pod keři varianty ozelenění směsi s ještřábníkem na reálném a termosnímku

Zelený porost tlumí svým výparem teplotu půdy a tím i celkovou teplotu ve vinicích v parném létě (zejména tedy teplotu dozrávajících hroznů)/33, 34/. Je všeobecně známo, že vysoká teplota většinou na přelomu července a srpna působí negativně na vývoj celé řady látek v hroznech (aromatické látky, kyseliny, atd.) /27, 28/. Navíc teplota dozrávajících hroznů koncentrující cukry bývá vyšší než teplota prostředí. Je zřejmé, že nové testované ozeleňovací směsi tvořící zelené polštáře neumožňují velké prohřátí půdy a tím vyzařování tepla během noci, takže teplota pod keři s touto směsí vykazovala jen 29 -32 °C. Jen fotosynteticky aktivní (zelené) rostliny dokáží ochlazovat své prostředí. V tomto případě cca o 26 °C. Což má blahodárný vliv na tvorbu aromatických látek ve slupkách bobulí a udržení dostatku kyselin v bobulích.

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byla použita novější PCA metoda (Principal component analysis) v programu Statistika14. Z grafu 1, který udává vzájemné srovnání všech měřených parametrů mezi sebou, lze vidět uprostřed dnes standardní varianty ošetřování příkmeného pásu jako herbicidní pás a mechanickou výkyvnou sekci (červená elipsa), nahoře pak organické pokryvy - mulč, zaplevelení a ozeleňovací směsi (modrá elipsa) a zcela samostatně pak stojí pokryv pomocí textile (žlutá elipsa). Graf 2 ukazuje vazebné spojitosti mezi variantami, kde kolem vypočteného optima (zelená čára) ze všech srovnávaných parametrů (viz. tabulky výše) se pohybovaly varianty s herbicidním pásem, textilií, ozelenění monokulturou jetele a výkyvnou sekci; poněkud mimo stojí varianty s ozeleňovací směsí mixem jetelovin s ještěráníkem, travnatý mulč; a zcela mimo pak stojí varianta s přirozeným zaplevelením.



Grafy 1/2: Vzájemné srovnání všech sledovaných variant a komponent pomocí shlukové analýzy/Regulační čárový graf vazebné spojitosti mezi sledovanými variantami.

ZÁVĚR

V poslední době se řeší také hromadění těžkých kovů v půdě (ve vinicích zejména mědi), degradace půdy (zejména větrnou erozí), následná ztráta živin a humusu, ale také eutrofizace (smyv živin zejména dusíku do vod a tvorba vodního květu) a uvolňování skleníkových plynů z půdy (CO₂). Je tudíž snahou omezovat chemizaci v zemědělství, využívat organická hnojiva a omezovat pesticidy. Z tohoto pohledu je zřejmé, že využívání herbicidních pásů pod keři by

mělo být více omezováno, což podporují i výsledky této studie. Výhodou chemického způsobu ošetřování příkmenného pásu je jeho relativní jednoduchost aplikace, nižší náklady vinohradníka (nikoli obecně) a v neposlední řadě podpora vyšších výnosů. Studie však poukazuje i na negativní parametry jako možné poškození keřů, zejména však vznik vodní i větrné eroze a omezení flóry i fauny ve vinicích. V neposlední řadě i stimulace vyšších výnosů v dnešní době již nepatří mezi pozitivní atributy udržitelného hospodaření. Vliv na vyšší cukernatost hroznů nebyl jednoznačně prokázán (jen v roce 2024) a i vysoká cukernatost dnes nepaří mezi požadované kvalitativní požadavky vinařů.

V současnosti běžně využívané mechanické způsoby ošetřování příkmenných pásů, např. nožovými výkyvnými sekcemi, se nyní také více dostávají pod „drobnohled“ ekologů. Pozitivním faktorem může být provzdušnění půdy, stimulace mineralizace (uvolnění dusíku) a absorpce vody (zejména na jaře, kdy vše réva využije pro svou výživu). Při častějším kypření se však díky vyšší mikrobiální aktivitě uvolňuje více CO₂ z půdy díky zvýšenému prodýchávání půdy. Také uvolňování dusíku a jeho smyv do spodní vody v létě vede ke znečišťování vodních nádrží zvýšenou tvorbou sinic. Nezanedbatelný je i počet pojezdů (2-5x ročně) nutný k omezení růstu vytrvalých plevelů a tím navýšení emisí do ovzduší. Většina sledovaných parametrů dosahovala u tohoto způsobu ošetřování jen středních hodnot.

Varianta ošetření příkmenného pásu pomocí aplikace travního mulče se z krátkodobého hlediska (1-2 roky) jeví dle výsledků jako velmi zajímavá, ovšem do starších vinic. Náklady jsou nízké, omezení jednoletých plevelů vysoké, podpora dynamiky živin i vodní bilance je dobrá, zvedá se průměrná hmotnost bobulí i hroznů a následně i výnos. Na druhou stranu byl ale výrazně vyšší i obsah asimilovatelného dusíku a kyselina jablečná v hroznech, dále nejvyšší pH a ztráty na výnosu způsobené zvýšeným napadením plísní šedou. Mladé keře také negativně reagovaly zvýšenou tvorbou rosných kořenů a zejména v druhém roce se již více objevovalo prorůstání pcháče a značná kumulace hrabošů v mulči. Obecně zvýšená bujnost v růstu vede k poněkud nižší cukernatosti v hroznech a horšímu vyzrávání réví.

Ošetření příkmenného pásu pomocí jednorázové aplikace textilie vykazovala také velmi zajímavé výsledky. Z pohledu redukce a omezení růstu plevelů se dosáhlo nejlepšího výsledku. Díky pokryvu půdy pod keři nedochází k erozním jevům. Na druhou stranu omezení výskytu i fauny bylo vysoké. Při vyšší nadmořské výšce a nižším kmínkům může černá barva folie urychlovat fenofázi rašení a tím ovlivnit i dřívější dobu zrání hroznů a zvyšovat cukernatost. I v tomto pokusu měla varianta s folií druhou nejvyšší cukernatost moštu (23,4 °NM). Patrně díky optimálním teplotním a vlhkostním podmínkám v době květu révy (květen/červen) vykazovala varianta průměrně nejvyššího počtu bobulí v hroznech (188 ks), které byly sice menší, ale hmotné (139,49 g). Koeficient plodnosti i výnos byl pro sledovanou odrůdu Tramín červený optimální (9,01 t/ha). Ztráty na výnosu zde představovaly zejména sesychající bobule, způsobené suchem koncem léta (ideální by bylo změnit v létě barvu folie z černé na bílou).

Pro ekologické směry pěstování révy se obecně doporučují varianty s ozeleněním příkmenného pásu, zda je to možné, tj. nejsou v lokalitě srážky běžně pod hranicí 300 mm za rok (ve vegetačním období). Doporučovány jsou méně vzrůstné pestřeji zastoupené směsi domácích druhů rostlin s vyšším podílem jetelovin s malou nebo žádnou potřebou kosení, s pozitivním vlivem na půdní strukturu, dynamiku živin i vody a druhovou rozmanitost. Varianta s monokulturou jetele plazivého stále není ekonomicky až tak nákladná, díky plazivému růstu dobře potlačuje růst plevelů a nevyžaduje kosení. Sledované základní

analytické parametry (zejména obsah asimilovatelného dusíku v hroznech, cukernatost a obsah kyselin) byly v optimální výši, přes vyšší koeficient plodnosti, bujnější růst i lehce vyšší výnos.

Varianta s mixem jetelovin má již vyšší náklady na pořízení, přičemž vzrůstnější druhy (vičenec, úročník) již vyžadují i občasné kosení (dle reakce na případné srážky či závlahu). Varianta měla vyšší bujnost v růstu, nejvyšší průměrnou hmotnost hroznů na keř (2,66 kg) a nejvyšší výnos 10,43 t/ha. Na druhou stranu ale také nejvyšší ztráty na výnosu, vyšší pH a množství asimilovatelného dusíku v hroznech. Nicméně také nejvyšší cukernatost hroznů ze všech variant (23,5 °NM).

Varianta s přirozeným ozeleněním pomocí náletů plevelů bez kosení (či s minimálním kosením) se na první pohled jeví jako ekonomicky nejlevnější, ale z dlouhodobějšího hlediska tomu tak není. Zpočátku ušetříme za náklady za ozeleňovací směs; na počátku se více vyskytují sezonní jednoleté plevely (ptačinec žabinec, hluchavka nachová, aj.), ty však velmi rychle vystřídají plevely vytrvalé, mnohem vzrůstnější, vyžadující již kosení a zvyšující konkurenční tlak o vodu a živiny s révou (pampeliška, pýr, turan, třtina); po roce je však nutné omezovat v růstu šířící se nežádoucí vytrvalé plevely. To má za následek nejenom snížení výnosu, ale i vitality révových keřů (nízký RI), což se začalo projevovat (málo dusíku v hroznech, malé hrozny, nízký výnos).

Do popředí zájmu se v poslední době dostává i prostředí vinice, zejména díky silícím ekosměrům (eko-produkce a biodynamika), kde je snahou vypěstovat kvalitní hrozny v souladu s přírodou, a ne za cenu maximalizace produkce (výnosu). Ve vinicích se zde používají různé ozeleňovací směsi, jak pro meziřadí, tak pro příkmený pás. Vhodné směsi použitých rostlin, jak ukazuje i tato studie, mohou zmírňovat i negativní vliv vysokých teplot během horkých dnů pozdního léta ve vinicích. V bobulích, exponovaných ke slunečnímu záření, může být teplota vyšší až o 10 °C, než je aktuální teplota vzduchu. Při teplotách okolo 35 °C, může být teplota bobulí již přes 45 °C, což může být destruktivní nejenom pro slupku, dužninu bobule, ale také pro enzymatický systém. Zcela destruktivně proto může být ovlivněná tvorba látek obsažených v bobulích a tím také kvalita hroznů. Vliv tepelného záření na bobule se zesiluje, zejména za bezvětrí nebo minimálního proudění vzduchu. Výsledky studie ověřily, že teplota bobulí (zóna hroznů) byla skutečně cca o 10 °C průměrně vyšší jako teplota vzduchu.

Obecně lze říct, že ošetřování příkmených pásů odráží i samotnou filozofii vinohradníka (v jakém směru révu pěstuje a jaký typ vína vyrábí). Určitou roli zde však sehrávají i topografické podmínky vinice (svahovost, nadmořská výška, srážky, atd.). V neposlední řadě své sehrávají i nároky ekonomické. Je nutno si však uvědomit, že pěstování striktně jednoho druhu užitkové vytrvalé plodiny (víceleté monokultury), révu nevyjímaje, vede v přírodě k omezení diverzity daného prostředí. I proto, pokud je to jen trochu možné, bychom se měli více snažit o větší různorodost flóry a fauny v našich vinicích.

LITERATURA

- /1/ ECOVIN (2025): Základní principy ekologického zemědělství. <https://ekovin.cz/2022/05/16/ekologicke-vinohradnictvi/>
- /2/ Sotolář, R., Kopta, T. (2024): Posouzení vlivu úpravy příkmeného pásu na ekologické, analytické a uvologické charakteristiky u odrůdy Tramín červený. *Vinař – sadař*, sv. 3/2024: 4-8. ISSN 1804-3054.
- /3/ Burg, P., Zemánek, P. 2019): Alternativy náhrady glyfosátu při ošetřování příkmených pásů vinic. 2019. *Vinařský obzor*. 112(6), 290–291. ISSN 1212-7884.

- /4/ Čížková, A., Zemánek, P., Burg, P. (2023): The influence of different tillage methods in the inter-row of vineyards on soil erosion. In: Adaptation strategies for soil and water conservation in a changing world: Proceedings. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 126. ISBN 978-80-244-6318-6.
- /5/ Šindelková, I., Vymyslický, T., Lang, J., Novotná, J. (2017): Metodika 43/17 – Zlepšení důležitých půdních vlastností vinohradů a sadů prostřednictvím ozelenění meziřadí vhodnými osivovými směsmi. Zemědělský výzkum – Troubsko. MZe ČR, osvědčení č. 73434/2017-MZE-17221.
- /6/ Vymyslický, T., Lang, J., Pavloušek, P. (2018): Vytrvalá osivová směs pro ozelenění meziřadí vinohradů a sadů na suchých stanovištích. Užitený vzor CZ 31425U1. <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0031/uv031425.pdf>
- /7/ Pavloušek, P. (2016): Ozelenění příznivé pro révu vinnou. Zahradnictví č. 5/2016. <https://zahradaweb.cz/ozeleneni-priznive-pro-revu-vinnou/>
- /8/ Vidlář, M., Pavloušek, P. (2025): Je trvalé ozelenění prospěšné pro vinice? <https://www.vinarskepotreby.cz/clanky/detail/je-trvale-ozeleneni-prospesne-pro-vinice.htm>
- /9/ Burg, P., Mašán, V. (2018): Vývojové trendy v oblasti mechanizace vo vinohradnictve. *Sady a vinice*, 13(2): 60-61.
- /10/ Sotolář, R. (2024): Ozelenovací směsi příkmeného pásu pro starší vinice. *Vinařský obzor*, sv. 117, č. 7-8: 368-370. ISSN 1212-7884.
- /11/ Jobbágy, J., Burg, P., Mašán, V., Zemánek, P. (2022): Technika pre vinohradníctvo a vinárstvo. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 491 s. ISBN 978-80-552-2496-1.
- /12/ Walg, O. (2022): Možnosti péče o půdu v řádku pod keři révy (překlad J. Sedlo). *Vinařský obzor* 9/2022: 442-449. ISSN 1212-7884.
- /13/ Burg, P., Pavloušek, P., Zemánek, P. (2018): Posouzení vlivu rostlinného pokryvu o různém druhovém složení na penetrometrický odpor půdy v meziřadí vinic. 2018. *Vinařský obzor*. 111(2), 70–72. ISSN 1212-7884.
- /14/ Čížková, A., Vaidová, M., Zatloukal, P., Burg, P. (2020): Effect of different soil-processing operations in the inter-row of vineyards on soil washdown. In: MendelNet 2020: Proceedings of International PhD Students Conference. MENDELU Brno, 237–242. ISBN 978-80-7509-765-1.
- /15/ Kopta, T., Nedorost-Ragasová, L., Sotolář, R., Sedláček, J., Ferby, V., Hurajová, E., Winkler, J. (2024): The influence of different methods of under-vine management on the structure of vegetation and the qualitative parameters of the grapes in the Moravian wine region. *Folia Hort.* 36(2), 2024: 1-23. ISSN (on line): 2083-5965. DOI: 10.2478/fhort-2024-0015. <https://sciendo.com/fr/article/10.2478/fhort-2024-0015>.
- /16/ Rýgl, T., Sotolář, R., Hnilička, F. (2024): Monitoring teplot hroznů při jejich dozrání během horkého léta a podzimu roku 2024. *Vinař - sadař*: 5/2024: 2-7.
- /17/ Ragasová, L., Kopta, T., Winkler, J., Šefrová, H., Sochor, J., Pokluda, R. (2021): The impact of vineyard inter-row vegetation on plant and insect diversity. *European journal of horticultural science*, 86(4): 360–370. ISSN 1611-4426.
- /18/ Ragasová, L., Kopta, T., Winkler, J., Pokluda, R. (2020): Assessing Diversity Levels in Selected Wine Regions of South Moravia (Czech Republic). *Polish Journal of Environmental Studies*. 29(2), 1315–1321. ISSN 1230-1485.
- /19/ Winkler, J., Hurajová, E., Ragasová, L., Ferby, V., Kopta, T. (2022): Flóra vinic jižní Moravy z pohledu ekosystémových funkcí. In: XXII. Česká a slovenská konference o ochraně rostlin. MENDELU Brno. ISBN 978-80-7509-848-1.
- /20/ Kasal, P., Čepl, J. (2011): Možnosti regulace plevelů v bramborách. VUB Havlíčkův Brod. <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/moznosti-regulace-plevelu-v-bramborach>
- /21/ Kraus, V.: Vinohradnictví II.: Základní agrotechnika révy vinné. Skriptum VŠZ Brno. 1979.
- /22/ Vance A.J.: Impacts of crop level and vine vigor on vine balance and fruit composition in Oregon Pinot noir. Oregon university. 2012.
- /23/ Těthal, J., Sochor, J., Sotolář, R., Pavloušek, P., Baroň, M., Danko, R., Kaplan, M., Klimek, K.: A study on effects of rootstocks on vine balance of 'Cerason' cultivar. *Horticultural Science (Prague)*, 52, 2025: 202-214.
- /24/ Ribéreau-Gayon, P., Branco, J.M.: Handbook of enology: The chemistry of wine stabilization and treatments. Chichester. 2006. ISBN 97804700103962.
- /25/ Sotolář, R.: Srovnání uvologických a analytických parametrů u různého typu vedení révy. *Vinař – sadař*, 1, 2023: 30-33. ISSN 1804-3054.
- /26/ Slavíková, J. (1986): Ekologie rostlin, Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- /27/ Hlušek, J., Lošák, T., Pavloušek, P., Baroň, M., Šafránková, I., Zemánek, P., Burg, P. (2015): Réva vinná. Profi press, Praha. ISBN: 978-80-86726-67-0.
- /28/ Pavloušek, P.: Pěstování révy vinné – moderní vinohradnictví, Graga Praha, 2024 (druhé rozšířené vydání). ISBN 9788027131662.

- /29/ Bergqvist, J., Dokoozlian, N., Ebisuda, N. (2001): Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52:1, 1-7.
- /30/ Doležal, J., Beránková, A. (2025): Teplota a srážky na území ČR za rok 2024 - ČHMI. https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2025/Teplota_a_srazky_na_uzemi_CR_za_rok_2024.pdf
- /31/ BS vinařské potřeby (2024): Průběh počasí a předsběrové analýzy v roce 2024. <https://www.vinarskepotreby.cz/clanky/detail/predsberova-analyza-34-tyden.htm>
- /32/ Kraus, V., Hubáček, V., Ackermann, P.: Rukověť vinaře. Květ Praha 2004. ISBN 80-209-0327-5.
- /33/ Pavloušek, P. (2013): Poškození hroznů Ryzlinku rýnského vysokými teplotami, slunečním zářením a šedou hnilobou hroznů (*Botrytis cinerea*). *Zahradnictví*, 12(10): 22–24. ISSN 1213-7596.
- /34/ Burg, P., Pavloušek, P., Zemánek, P. (2018): Posouzení vlivu rostlinného pokryvu o různém druhovém složení na penetrometrický odpor půdy v meziřadí vinic. 2018. *Vinařský obzor*. 111(2), 70–72. ISSN 1212-7884.
- /35/ Walg, O. (2012): Bodenpflege im Weinbau. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz. <https://www.igsz.de/BAUER/MATKOM/17/PhPf-2012.pdf>

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

SROVNÁNÍ POKUSU SE ZÁVLAHOU A RŮZNÝMI PODNOŽEMI NA DVOU ODLIŠNÝCH LOKALITÁCH U ODRŮDY SAUVIGNON BLANC

COMPARISON OF AN EXPERIMENT WITH IRRIGATION AND DIFFERENT ROOTSTOCKS AT TWO DIFFERENT LOCATIONS FOR THE SAUVIGNON BLANC VARIETY

Lubomír Lampíř¹, Radek Sotolář², Oldřiška Sotolářová², Jaroslav Šuldes²

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, lampir@af.czu.cz

² Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství, Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

Summary

The study was focused on evaluating the influence of the tested rootstocks and different types of irrigation using analytical, uvological and yield characteristics of the Sauvignon blanc variety at two different locations. The aim was to verify the increase in yields with the tested drip irrigation (classical and subsurface) compared to the control and to find out which rootstocks showed the best results in these regimes. In the Lednice location, the highest yield was with the rootstocks Richter 110 and Kober 5BB (followed by Fercal and SO4) with values over 8 t/ha in the variant with subsurface irrigation. In the Kojetice location, the highest yield was with the rootstock Kober 5BB (followed by SO4, Richter 110 and Fercal) with values over 8,9 t/ha again in the variant with subsurface irrigation.

Key words: Analytical parameters, Uvology, Ravaz index, Yield, Irrigation, Location

Souhrn

Studie byla zaměřena na hodnocení vlivu testovaných podnoží a různých typů závlah pomocí analytických, uvologických a výnosových charakteristik u odrůdy Sauvignon blanc na dvou odlišných lokalitách. Cílem bylo ověřit zvýšení výnosů u testovaných kapkových závlah (klasická a podpovrchová) oproti kontrole a zjistit, které podnože v těchto režimech vykazovaly nejlepší výsledky. V lokalitě Lednice byl nejvyšší výnos u podnože Richter 110 a Kober 5BB (následovaly Fercal a SO4) s hodnotami nad 8 t/ha u varianty s podpovrchovou závlahou. V lokalitě Kojetice pak u podnože Kober 5BB (následovaly SO4, Richter 110 a Fercal) s hodnotami nad 8,9 t/ha opět u varianty s podpovrchovou závlahou.

Klíčová slova: Analytické zhodnocení, Uvologické zhodnocení, Ravazův index (RI), Výnos, Lokalita (viniční trať), Závlaha

ÚVOD

V České republice je sucho, a s ním spojený nedostatek vody, velkým problémem, který se v posledních letech zhoršuje. Problém se týká jak zemědělství, tak i zásobování pitnou vodou a má negativní dopad na ekosystémy. Závlahové systémy, zejména efektivní typy jako kapková

závlaha, se stávají nezbytnou součástí adaptace na klimatické změny a zajištění dostatečných výnosů v zemědělství /1/. Česká republika zažívá období sucha, které trvá prakticky nepřetržitě od roku 2014 a je historicky bezprecedentní. Jsou celé oblasti, které se nacházejí ve srážkových stínech a potýkají se se suchem již každoročně, jako např. jižní Morava /1, 2/. Sucho vede zejména ke snížení výnosů plodin, a neohrožuje již jen plodiny náročné na vodu, ale i základní obiloviny a trvalé kultury. Dlouhodobě trvající období sucha má negativní vliv i na lesy, vodní toky a další ekosystémy /2/. Efektivním opatřením se jeví metoda kapkové závlahy, která dodává vodu přímo ke kořenům rostlin, minimalizuje ztráty odparem a umožňuje i hnojení. Navíc stát dotuje budování závlahových systémů v trvalých kulturách, jakými jsou i vinice /3/. Nicméně možnosti zlepšení klasické kapkové závlahy ve vinicích je hned několik. Velkým problémem je vedení závlahových hadic po vodičím drátu konstrukce vinice (cca 60-80 cm nad zemí), kde kapající voda vytváří škraloup a erozi, navíc je nemalá část vody vypaří. Hadice umístěné na povrchu v příkmenném pásu nejsou vzhledem k obdělávající mechanizaci (výkyvné sekce) vhodné, a proto se začíná více testovat závlaha podpovrchová /4/.

Každá lokalita však vyžaduje jiné podnožové odrůdy pro své odlišné geologicko-pedologické (růst kořenů), klimatické a expoziční podmínky (směr větru, nadmořská výška, orientace stran, srážky..)/2, 3, 4/. Podnožové odrůdy révy jsou klíčové, i proto, že ovlivňují odolnost naštěpované odrůdy vůči chorobám a škůdcům (např. révokaz), její vzpřímený nebo bujný růst a schopnost přizpůsobit se půdním podmínkám, jako je pH nebo vlhkost půdy. Správný výběr podnože je tedy nezbytný pro zdraví keře, úspěšné naroubování ušlechtilé odrůdy a dosažení požadovaného výnosu a kvality hroznů /4/. Podnožové odrůdy slouží tedy zejména k přizpůsobení naštěpované odrůdy k podmínkám místního klimatu a specifickým půdním podmínkám. Bez moderních podnoží se současné vinohradnictví již neobejde. I proto vznikají neustále nové podnožové odrůdy (nebo klony těch stávajících), nicméně je třeba jejich vlastnosti neustále ověřovat a zlepšovat, v souvislosti s neustále se měnícími faktory daného stanoviště /4, 6, 7/.

Odrůda Sauvignon se vzhledem ke svému aromatickému potenciálu i ranější době zrání dnes více hodí do „severnějších“ lokalit jižní Moravy, díky vyššímu obsahu kyselin a asimilovatelnému dusíku v hroznech, což má pozitivní vliv na kvašení a delší dobu archivace. Tyto lokality ovšem, již mají zcela odlišné podmínky geologicko-pedologické i klimatické, a proto často vyžadují použití zcela jiných podnožových odrůd. Tato studie si klade za cíl potvrdit tuto hypotézu.

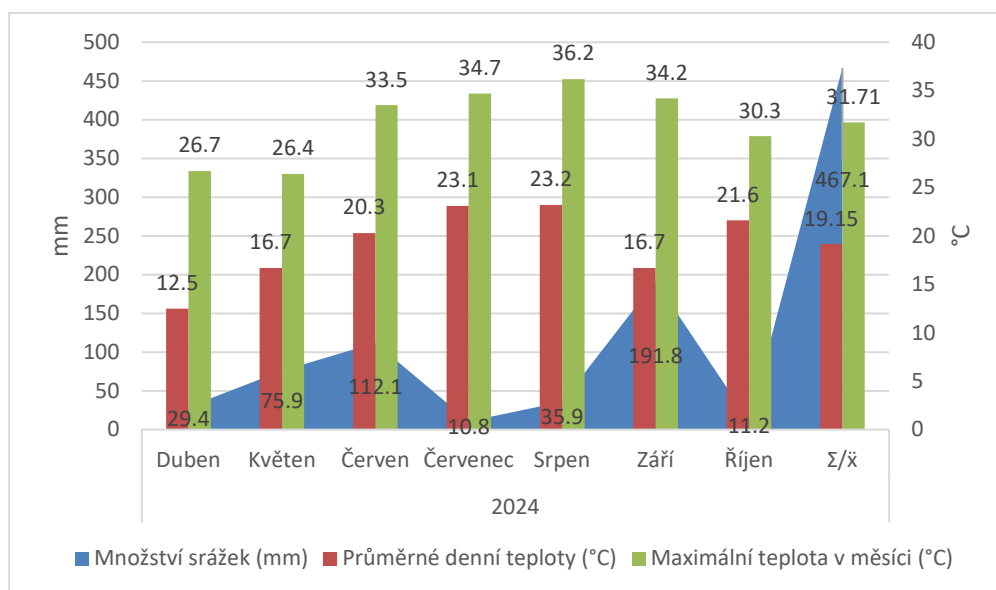
MATERIÁL A METODY

Popis lokalit a pokusných vinic

Pokusy proběhly na dvou zcela různých vinicích v rozdílných lokalitách v Lednici na Moravě (podoblast Mikulovská) a v Kojeticích na Moravě (podoblast Znojemská).

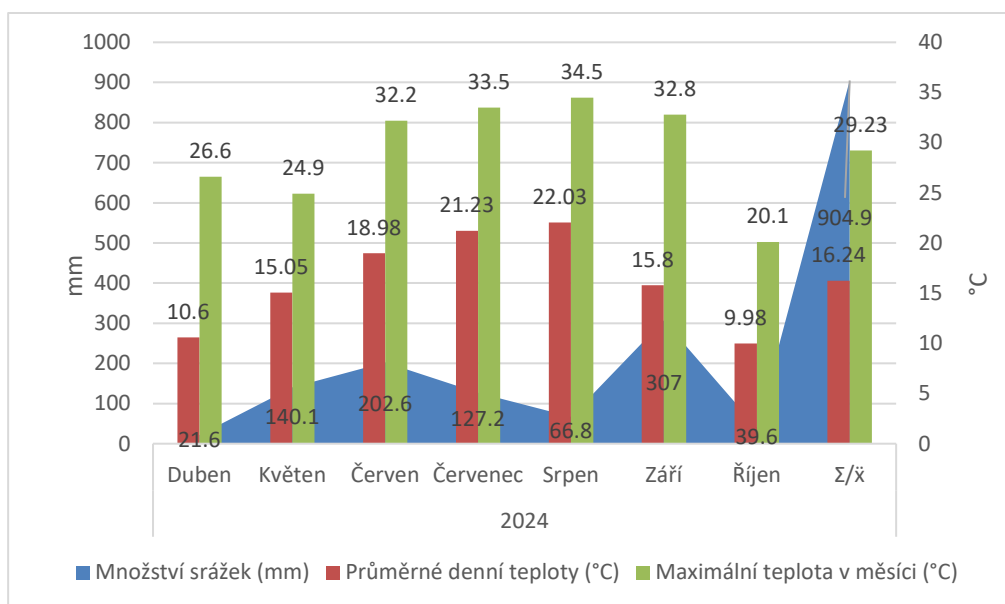
Lednice: jedná se o experimentální vinici MENDELU (trať Na Valtické: 48.788380N, 16.796148E, 173 m n. m.). Průměrná roční teplota v této lokalitě je 9,5 °C a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 516,6 mm. Meteorologická data jsou získána z Meteo stanice Mendelea, průměrné teploty a úhrn srážek za vegetační období ukazuje graf 1. Z grafu je patrné poměrně slušné srážkové období na jaře (modrá barva), zejména v měsíci červnu, kdy spadlo 112 mm; a naopak srážkově velmi chudé letní měsíce červenec a srpen + začátek měsíce září (v součtu jen 46,7 mm), kdy se často netvořila ani rosa po ránu. Celkově za vegetační období

spadlo jen 467,1 mm srážek, což je pro danou lokalitu v posledních letech průměrná hodnota a ukazuje to na velmi suchou lokalitu. Půda je hlinitopísčité s podílem 20–24 % jílovitých částic. Analýza půdy (v hloubce 30 cm) ukázala následující parametry: pH 7,5; Nmin 18,2 mg · kg⁻¹; P 51,7 mg · kg⁻¹; K 266,8 mg · kg⁻¹; Ca 6687 mg · kg⁻¹ (duben 2021). Obsah vápníku je vskutku vysoký (vápenité podloží - spraš), což spolu s horkým a suchým létem vyvolává a zvyšuje stresové prostředí na révové keře. Výsadba byla uskutečněna v roce 2021 ve sponu 2,20 m × 0,9 m. V následujícím roce byla zbudována drátěnka (konstrukce) a jednotlivé typy závlah. Vedení je standardní rýnsko-hesenské s horizontálně vyvázanými tažni (jeden kmínek/jedna tažen). Pokusné řádky jsou obhospodařovány v rámci ekologického režimu (IP).



Graf 1: Průměrné + maximální teploty a úhrn srážek za vegetační období (2024) lokality v Lednici

Kojetice: jedná se o experimentální vinici ČZU (trať Pod Sádkiem: 49.1564803N, 15.8080703E, 511 m n. m). Průměrná roční teplota v této lokalitě je 7,5 °C a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 560 mm. Meteorologická data jsou získána z Meteo stanice umístěné přímo ve vinici Sádek (graf 2). Oproti Lednici jsou průměrné i maximální teploty cca o 2 °C nižší, ovšem srážky za sledované období byly o 519,7 mm vyšší (což odpovídá vyšší nadmořské výšce vinice). Nicméně i zde byl daný rok srážkově podprůměrný. Půda je písčitohlinitá s podílem 20 % jílovitých částic. Analýza půdy (v hloubce 30 cm) ukázala následující parametry: pH 7,08; Nmin 14,3 mg · kg⁻¹; P 131,1 mg · kg⁻¹; K 202,3 mg · kg⁻¹; Ca 3163 mg · kg⁻¹ (duben 2021). Obsah fosforu je zvýšený, ostatní prvky jsou v normě. Oproti Lednici jsou zdejší půdy flyšové, s nižším podílem vápníku. I zde byla výsadba uskutečněna v roce 2021 ve stejném sponu, vedení i režimu integrované produkce a vybudovány stejné typy závlah.



Graf 2: Průměrné + maximální teploty a úhrn srážek za vegetační období (2024) lokality v Kojeticích

Design pokusu a použité typy závlah a podnoží

Varianta A - kapková závlaha: řádky vinice byly dlouhé 300 m; kapkovače byly rozmístěny po 1 metru, tj. na jeden řádek tedy připadá 300 kapkovačů (100 bylo zaslepených jako kontrola) s dávkováním 2,3 l/h. To znamená, že bylo spotřebováno 460 litrů na řádek za hodinu. Kapkovače použité pro pokus byly s tlakovou kompenzací, což znamená že tlak na začátku a na konci se lišil maximálně o 5 % /5/. Kapkové hadice byly umístěné na spodním drátu opěrné konstrukce, tj. 45 cm nad zemí. Kapková závlaha byla zapnuta od 11. 8. do 31. 8. 2024. Voda zde byla dávkována 3 dny v týdnu (pondělí, středa, sobota). V tyto dny byla používána od 22:00 do 6:00 hodin kvůli riziku výparu, což znamená 8 hodin za jeden den. Jelikož byla závlaha zapnutá tři dny v týdnu, zavlažovalo se 9 dní po osmi hodinách, což je 72 hodin zavlažování celkem. Při jedné hodině bylo použito na každou kombinaci (cca 25 m – 57,5 l) a celkově na jeden pokusný zavlažovaný řádek 460 litrů vody. V konečném počtu na 72 hodin zavlažování bylo použito 33 120 litrů vody. Cena závlahové vody byla v daném roce 0,063 Kč/l (včetně DPH).

Varianta B - podpovrchová kapková závlaha: vše bylo shodné jen s tím rozdílem, že kapková hadice byla zakopána 45 cm pod povrch příkmenného pásu, do cca 25 cm šterkového lože. Výhoda spočívá v tom, že dodává pravidelně malá množství vody a živin přímo do části kořenové zóny pěstovaných plodin. Hlavním předpokladem jejího úspěšného fungování je soustředit nejprve do navlaženého objemu rozhodující část vlásečnicových kořínků, přijímajících vodu. Pak máme možnost vytvářet rostlinám optimální zásobení vodou a živinami podle jejich momentální potřeby v závislosti na růstové fázi, velikosti násady plodů a dalších faktorech. Vzhledem k nutnosti překonávat velká převýšení a zaručit dlouhodobou bezproblémovou funkci jsou pro závlahu vinic nejvhodnější vícesezónní kapkovací hadice s tlakovou kompenzací. Díky vnitřní regulační membráně mají hadice samočisticí schopnost a jsou odolné proti běžně používaným agrochemikáliím a zředěným kyselinám /5/.

Varianta C - kontrola bez závlahy, zde nebyla využita žádná závlaha, vyjma přirozených dešťových srážek.

Kober 5 BB (5 BB): Tato podnožová odrůda je výsledkem křížení mezi druhy *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* (Sigmund Teleki a Franz Kober, 1896). 5BB je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry i k hádětkům rodu *Meloidogyne*. Na druhou stranu je citlivější na *Agrobacterium vitis*. Novější selekce těchto podnoží odolávají až 35 % „celkového“ vápníku v půdě (CaO, CaCO₃) a zhruba 20 % „aktivního“ vápníku (Ca²⁺). Odolnost vůči chloróze vyvolanou nedostatkem či nadbytkem železa je střední až dobrá. 5BB je také dobře přizpůsobena vlhkým podmínkám a zejména písčítým půdám (má hlubší kořenový systém). Rychlost růstu a produkce hmoty je za optimálních půdních podmínek velmi vysoká (až na úkor plodnosti), proto se tato podnož spíše využívá do chudších sušších písčitých či kamenitých půd, které brzdí její růst /6/.

Selection Oppenheim 4 (SO4): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* Sigmundem Telekim a Heinrichem Fuhrem, v roce 1896. SO4 je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry. Velmi dobrá je i odolnost vůči hádětkům. Odolnost vůči vápenitým půdám je dobrá, vyhovují jí však kyselejší půdy a je poměrně tolerantní k chloridům. Odolnost SO4 vůči suchu je střední až nízká. Rychlost a bujnost růstu rostlin naroubovaných na SO4 je velmi vysoká, zejména v první části života révy (prvních 15 let). Odrůdy naroubované na SO4 produkují vysoké výnosy, počínaje prvními roky po výsadbě, což někdy vyžaduje probírky hroznů /7/.

Fercal: Na základě genetických analýz provedených v Montpellier je tato odrůda výsledkem křížení Berlandieri-Colombard 1 B (z křížení mezi *Vitis berlandieri* a *Vitis vinifera* cv. Ugni blanc) a 31 Richter (z křížení mezi *Vitis berlandieri* cv. Ressenaguier 2 a *Vitis longii* cv. Novomexicana; INRA, 1959). Fercal je velmi vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry. Hlavní vlastností je dobrá afinita a velmi vysoká odolnost vůči chloróze a přizpůsobení se vápenitým půdám. Podnož snáší poměrně dobře vlhké jarní podmínky, ale její odolnost vůči suchu je jen střední. Rychlost růstu a nasazování plodů je dobrá. Bujnost růstu je zpočátku střední až vysoká /6/.

Richter 110 (110 R): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* cv. Rességuier n°2 a *Vitis rupestris* cv. Martin od Franze Richtera, 1902. Je dobře přizpůsobena suchu (vytváří hluboký kořenový systém) a proto se využívá na chudší kamenité kyselejší půdy. Je citlivější na přebytek vody v půdě a vápenité půdy obecně. 110 R má vysokou toleranci k révokazu a nízkou toleranci k hádětkům. Podporuje plodnost, ale na druhou stranu zpomaluje růstový cyklus a dozrávání, zejména v úrodných půdách /6, 8/.

Použité metodiky pro stanovení vitality, plodnosti rostlin a výnosů

Rovnováhu mezi plodností a růstem keře v daném roce zjišťujeme pomocí tzv. **Ravazova indexu** (jedná se o koeficient využitelnosti révy). Tento index představuje obecně poměr reprodukčního oproti vegetativnímu růstu. Vychází z optimálního poměru mezi výnosem, růstem keře a kvalitou hroznů /9, 10/. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr hmotnosti hroznů ku ořezanému réví z jednoho keře (plodnost / řez). *Hmotnost ořezaného réví* představuje informaci nejen o intenzitě růstu keře a tím i jeho vitalitě (pokud je prováděn každoročně konstantně), ale také o kvalitě prováděných zelených prací, architektuře révového keře, výživě a ošetřování půdy ve vinici. *Hmotnost hroznů* sklizených z jednoho keře naopak představuje informaci o

plodnosti odrůdy za daných podmínek, která bývá ovlivněna klonem odrůdy, použitou podnoží, výživou keře, teplotami a srážkami během vegetace. Obě tyto informace jsou tedy velmi důležité pro zjištění tzv. „vine balance“, tj. je-li plodnost keře v rovnováze s růstem, což lze vyjádřit právě Ravazovým indexem.

Tabulka 1: Schéma pokusu

Varianty	Odrůda/Dávka	Podnože	Počet keřů
Varianta A – Klasická kapková	Sauvignon / 2,3 l/hod.	5 BB, 110 R 5 BB, Fercal 5 BB, 110R, Fe, SO ₄	25 ks + 25 ks 25 ks + 25 ks 25 + 25 + 25 + 25 ks
Varianta B – Podpovrchová kapková	Sauvignon / 2,3 l/hod.	5 BB, 110 R 5 BB, Fercal 5 BB, 110R, Fe, SO ₄	25 ks + 25 ks 25 ks + 25 ks 25 + 25 + 25 + 25 ks
Varianta C – kontrola	Sauvignon / 0 litrů	5 BB, 110 R 5 BB, Fercal 5 BB, 110R, Fe, SO ₄	25 ks + 25 ks 25 ks + 25 ks 25 + 25 + 25 + 25 ks

Keller /11/ jej nazývá jako zatížení keře sklizní a specifikuje jej jako poměr velikosti sklizně k velikosti révového keře (stanovené jako hmotnost ořezaného réví či velikost listové plochy) a je měřítkem vztahu mezi příjmem a výdajem. Kraus /12/ jej nazývá koeficientem využitelnosti réví. V každém případě je vyjádřený poměr mezi plodností a řezem počáteční ukazatel bilance rovnováhy mezi růstem a plodností mající vliv na vitalitu révového keře, který byl prvně propagován francouzským profesorem vinařství Louisem Ravazem (1863-1937) na počátku 20. století (1903). Optimální hodnoty Ravazova indexu jsou 5-7, a tyto hodnoty představují optimální růst a plodnost révového keře /13/. Vliv na optimální hodnoty indexu má však také tloušťka réví, častější eliminace zálistků a osečkování nebo sama velikost hroznů. Také PIWI odrůdy, tj. více plodné a bujněji rostoucí odrůdy mívají hodnoty obecně vyšší. Za přijatelné je tedy možno považovat i hodnoty 3-10. Hodnoty Ravazova indexu na spodní hranici naznačují keře s nízkou násadou hroznů nebo keře velmi bujně rostoucí, mající velkou listovou plochu v porovnání k výnosu. V tomto případě je vhodné zvýšit zatížení plodností nebo provést zásahy oslabující růst keřů. Hodnoty na horní hranici indexu naznačují vysokou násadu hroznů anebo slabý růst keře. V tomto případě je vhodné naopak snížit zatížení nebo provádět zásahy vedoucí k podpoře růstu keře – zvýšit listovou plochu. Pozor u mladých keřů v kondici (mají bujnější růst a silnější réví) a obecně u PIWI odrůd (bujnější růst i vyšší plodnost) jsou hodnoty spíše hraniční, tj. akceptovatelné (ještě přijatelné) běžným jevem /14/.

Stupnice Ravazova indexu (či také Koeficient využitelnosti réví): Vysoký = 10,1 a vyšší; akceptovatelný = 8 – 10; **optimální = 5 – 7**; akceptovatelný = 3 – 4,9; nízký = 2,9 a méně /12, 14, 15/.

Ravazův index vhodně doplňuje i tzv. **index bujnosti růstu**, který vyjadřuje, jak který keř v daném roce rostl. Hodnotí se podle šířky výhonů dole u báze, co nejbližší tažni (nejlépe na podzim po opadu listů). Za normálních okolností (volný růst) je ukazatelem bujnosti růstu délka narostlého réví (hlavního výhonu) za vegetaci, nicméně díky modelaci keře pomocí zelených prací a řezu (zejména osečkování, tj. zkrácení hlavní osy), musíme tento parametr nahradit průměrnou šířkou výhonů (jejich tloušťkou). Bujnost růstu je odvislá od vícero faktorů, především však od volby odrůdy a podnože, vedení a zelených prací (počet letorostů a hroznů na keři) a také od výživy keře a počasí v daném ročníku (zejména průměrné teploty a množství

srážek). Mezi silněji rostoucí odrůdy můžeme zařadit PIWI odrůdy (Monarch, Solaris, aj.) nebo standardní odrůdy jako Carmenere, Dornfelder, atd.; slaběji roste například odrůda Cabernet Franc. Obecně také bujněji rostou mladé keře s minimem hroznů, slaběji naopak keře starší s větší násadou plodů /12, 15/.

Stupnice Indexu bujnosti růstu: <0,4 slabší růst; 0,5 – 1 **optimální růst**; >1 silný růst /15/.

Dalším zajímavým ukazatelem je tzv. **index (koeficient) plodnosti**, který představuje vyjádření plodného (výnosového) potenciálu réвовého keře v daném roce. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr všech (nejen sklizených) hroznů ku počtu plodných letorostů na keři (počet hroznů / počet letorostů). *Počet letorostů na keři* představuje především asimilační plochu keře a odráží tak informace o agrotechnice (největší vliv má samotné vedení), vitalitě růstu (zahrnuje půdní podmínky, výživu, volbu podnože i klonu, atd.) a prováděných zelených pracích. *Počet hroznů na keři* je ukazatelem zejména odrůdovým (včetně klonů a volby podnoží), ale je také ovlivňován samotným stanovištěm (oslunění keře má vliv na tvorbu květenství v následujícím roce) /12/.

Stupnice Indexu plodnosti: Velmi vysoký = 1,7 – 2,2 (až přes 2 hrozny na letorost); vysoký = 1,1 – 1,6; **střední** = 0,6 – 1; nízký = 0,5 a nižší /12/.

Index plodnosti ovšem úplně nesouvisí s **výnosem**, neboť čím více je hroznů na keři, tím jsou menší (méně hmotné) a celkově tak může být sice více hroznů na keři, tedy velmi vysoký koeficient, ale s hmotností jen kolem 2 kg na keř, čili střední výnos (cca 10 tun/ha). Proto se nejčastěji vyjadřuje čistá plodnost keře množstvím skutečně sklizených hroznů z plochy, čili výnos (je vyjádřen v t/ha). Předpokládaný výnos spočteme jako součin počtu keřů na ploše x hmotnost sklizených hroznů na keři. Výnos tak dosti ovlivňuje množství keřů na hektaru, tedy spon /12/. Skutečný výnos (celková hmotnost skutečně sklizených hroznů) je ovšem v praxi vždy nižší, neboť nikdy nesklízíme všechny hrozny (nesklízíme poškozené hrozny např. houbovými chorobami, něco „sklidí“ špačci, atd.).

Stupnice výnosu: Velmi vysoký = více než 15; vysoký = 11 – 15; **střední** = 5 – 10; nízký = méně než 5 /12, 15/.

Je třeba si také uvědomit, že při dnes standardním sponu 220 x 90 cm (cca 5000 ks/ha) bychom neměli mít vyšší výnos než 14 tun z hektaru (tj. max. 3 kg na keř), aby SZPI mohla zařadit víno (uznat vína ve vyšších jakostních stupních). De facto by mělo platit, že „jeden keř = jedna kvalitní láhev vína“ (tzn. ne více jak 2 kg hroznů na hlavu). Je logické, že jen nepřetěžovaný, optimálně zatížený (nestresovaný) keř, nebude tolik napadán houbovými chorobami a škůdci (nebo se s atakem sám lépe vyrovná) a bude produkovat více kvalitní hrozny (optimální cukernatost vs. kyseliny) /15/.

Použité přístrojové vybavení pro analytická a uvologická měření

Pro analytická data byla využita vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC Shimadzu), kde byl standardním způsobem stanoven obsah zkvasitelných monosacharidů v moštu (glukóza + fruktóza) a konkrétní obsah jednotlivých hlavních kyselin vinného moštu (tj. kyselina vinná, jablečná a citronová). Celkový obsah kyselin v moštu byl stanoven klasicky titračně. Pro určení cukernatosti moštu byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity závěsné digitální váhy a laboratorní digitální váhy značky

Kern. Analytická data byla získána dne 30.9.2024, uvologická a výnosová ve dnech 25.9.2024 a 15.11.2024 a vyhodnocena ve dne 23.11.2024.

Statistické vyhodnocení

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byly použity základní statistické metody, jako je ANOVA a Tukeyho test, včetně novější PCA metody (Principal component analysis) pomocí programu Statistika14. Vícerozměrné metody umožňují znázornit a popsat vícerozměrná data, zjišťovat vztahy mezi jednotlivými proměnnými vs danými subjekty; a projekce sledovaných proměnných do faktorové roviny udává také vzájemnou možnou závislost mezi sledovanými proměnnými (komponenty).

VÝSLEDKY

Ročník 2024 byl nesmírně teplý a horký, s podprůměrnými srážkami za vegetační období (viz. grafy 1,2), což mělo velký vliv na růst i plodnost jednotlivých variant. Navíc v měsíci září spadlo enormní množství srážek (přes 100 mm), což umožnilo rozvoj houbových chorob během dozrávání hroznů. Nicméně díky tomuto extrémnímu roku pro révu se rostliny během léta dostávaly do stresu díky vysokým teplotám a slunečnímu záření + ataku houbovými chorobami, což umožnilo lepší srovnání jednotlivých typů závlah a podnoží na daném stanovišti.

1. Lokalita **Lednice**

Při srovnání podnoží se pro danou lokalitu Lednice (hlinitopísčité půda s vysokým podílem aktivního vápníku v půdě) mimo již osvědčených podnoží Kober 125AA, 5BB a SO 4, ukazují pozitivně i novější podnože Fercal a Richter 110. Se vzrůstajícími vysokými teplotami a nízkými srážkami během léta je nutné používat spíše bujněji rostoucí podnože s hlubším kořenovým systémem. Z tohoto hlediska se jako problematická jeví podnož SO 4 (dobrá plodnost, ale slabší růst = zhoršující se vitalita-RI). Tuto podnož na dané lokalitě může nahradit novější podnož Fercal, která vykazuje lepší výsledky (navíc snese více vápníku v půdě). Podnož Richter 110 se v ČR dosud běžně nevyužívá, a i proto jsou výsledky s ní velmi zajímavé. Obecně má jen střední odolnost k aktivnímu vápníku v půdě, není vhodná do vlhkých půd, podporuje plodnost, ale zpožďuje dozrávání hroznů. Ukazuje se, že na lokalitě Lednice dosti tlumí růst, ale podporuje plodnost – podmínkou je však závlaha (bez závlahy byly naopak výnosy nízké).

Průměrné hodnoty hlavních sledovaných parametrů u odrůdy Sauvignon naštěpovanou na 4 podnožích u třech variant se závlahou (A-kapka na vodícím drátu, B-kapka v zemi, C-kontrola bez závlahy) ukazuje tab.2.

Z tabulky je zřejmé, že obě varianty se závlahou měly příznivý vliv na všechny sledované parametry, zejména však na výnos (hmotnost hroznů + počty bobulí v nich) a růst (šířky výhonů + hmotnost ořezaného réví). Nejlepší vitalitu, tedy bilanci mezi růstem a plodností, vyjádřenou Ravazovým indexem (RI) vykazovala varianta B – tedy kapková závlaha instalovaná v zemi (v hloubce 40 cm), umožňující dávkování závlahové vody přímo ke kořenům bez ztrát způsobených výparem při klasické kapkové závlaze. Z daných podnoží měly nejlepší parametry Kober 5BB a Richer 110.

Tabulka 2: Uvologické charakteristiky a RI u lokality Lednice

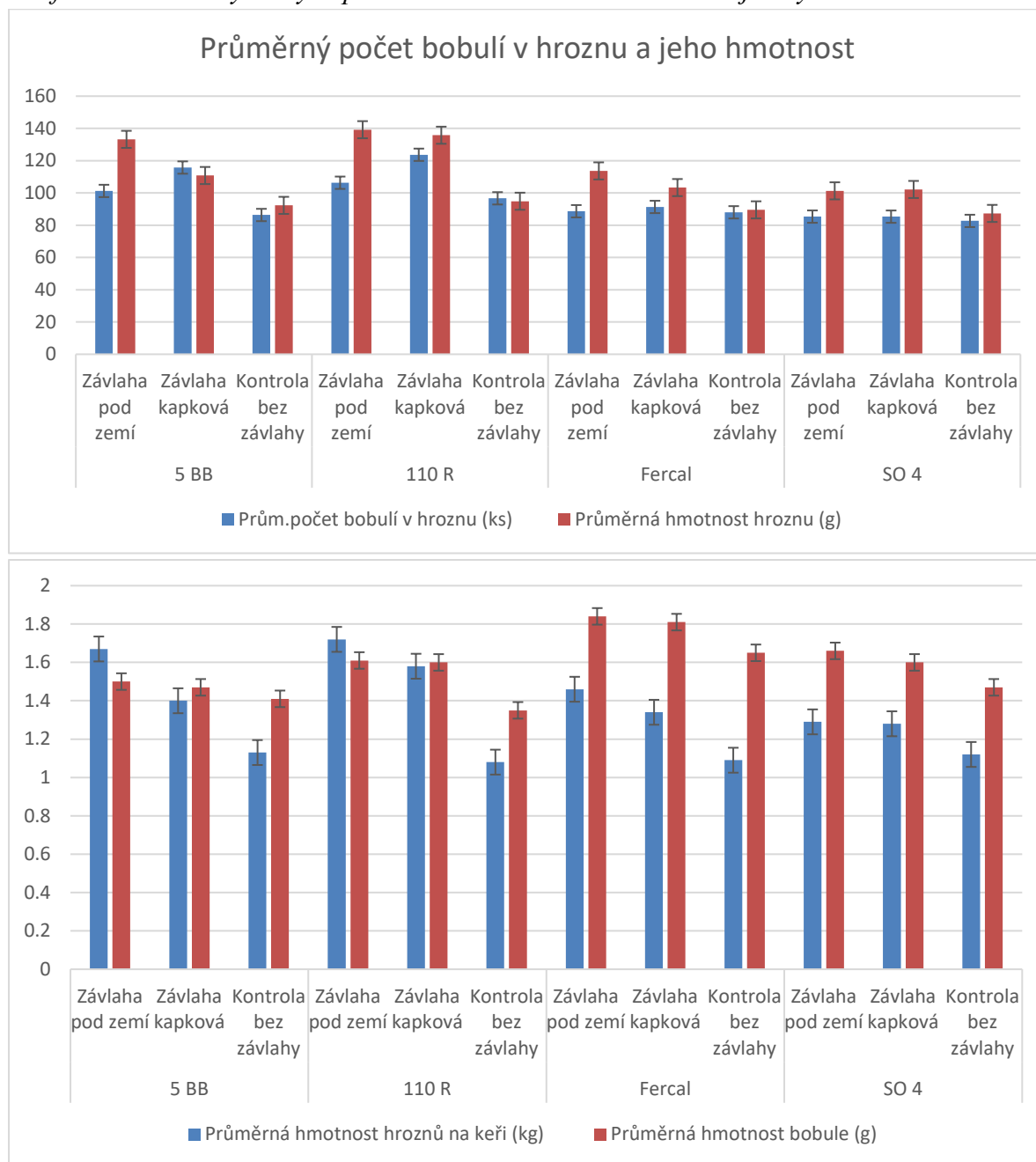
Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Počet hroznů na keři (ks)	12,4	12,5	11,8	11,4	11,9	11,3	12,3	12,4	11,8	12,3	12,5	11,8
Počet výhonů na keři (ks)	6,63	6,63	6,38	6,25	6,25	6,13	6,63	6,63	6,38	6,63	6,63	6,25
Koeficient plodnosti	1,86	1,89	1,84	1,82	1,9	1,84	1,85	1,88	1,85	1,85	1,88	1,87
Hmotnost hroznů na keři (kg)	1,4	1,67	1,13	1,58	1,72	1,08	1,34	1,46	1,09	1,28	1,29	1,12
Hmotnost réví (kg)	0,33	0,35	0,29	0,33	0,33	0,30	0,33	0,32	0,29	0,30	0,29	0,28
Ravaz index	4,24	4,77	3,90	4,79	5,21	3,60	4,06	4,56	3,76	4,27	4,45	4,00
Šírka výhonu (cm)	1,14	1,12	1,06	1,10	1,08	1,04	1,18	1,10	1,06	1,22	1,12	1,10
Hmotnost hroznů (g)	111	133	92	136	139	95	103	114	90	102	101	87
Hmotnost bobule (g)	1,47	1,50	1,41	1,60	1,61	1,35	1,81	1,84	1,65	1,60	1,66	1,47
Hmotnost třapiny (g)	8,79	8,08	5,72	8,67	8,68	6,04	7,81	7,54	7,08	6,44	6,25	6,18
Počet bobulí (ks)	116	101	86	124	106	97	91	89	88	85	85	83
Výnos (t/ha)	6,93	8,25	5,57	7,83	8,49	5,35	6,64	7,21	5,39	6,33	6,37	5,56

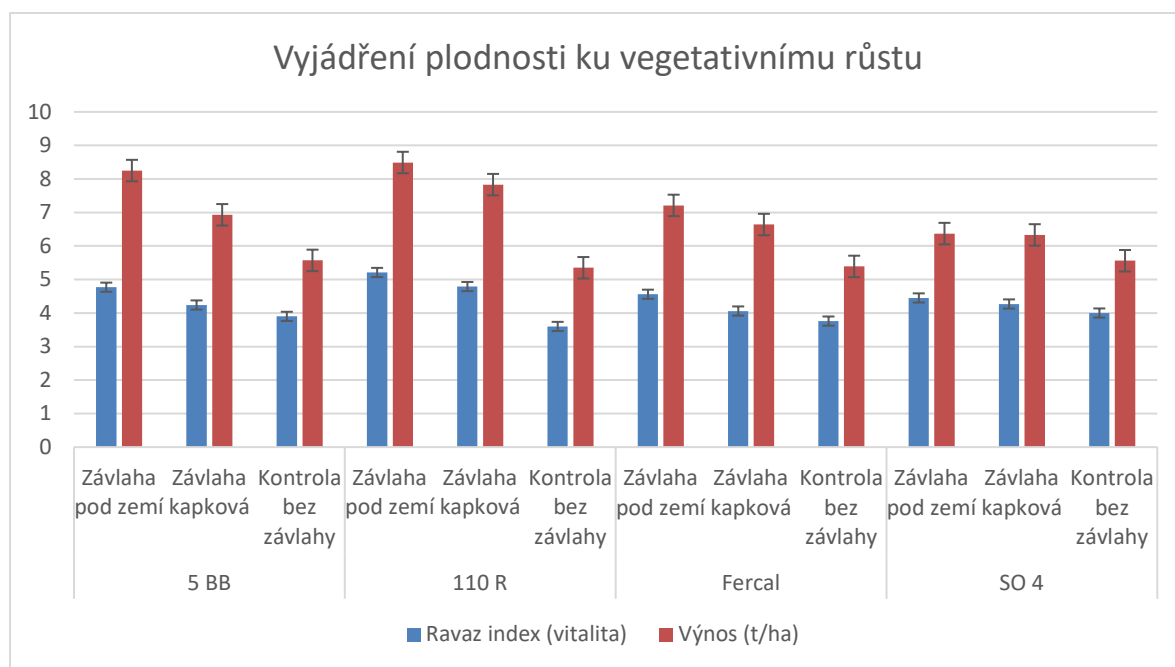
Celkové průměrné analytické hodnoty sledovaných parametrů u odrůdy Sauvignon (2024) ukazuje tab.3. Tyto parametry jsou nezbytné pro bezproblémovou výrobu vína.

Přirozený výskyt asimilovatelného dusíku v hroznech je 100 – 500 mg/l a je nezbytný pro rozmnožování a činnost kvasinek, přičemž ideální koncentrace je v rozmezí 190 – 200 mg/l. Tuto hranici nejlépe splňuje podnož Fercal u všech variant (YAN 192-262 mg/l). Obdobně je pro činnost kvasinek potřebný obsah monosacharidů (fruktózy a glukózy), kde zdravé a dobře vyzrálé bobule dosahují hodnot 200 – 250 g/l. /15/. Cukry zvyšují plnost, texturu a extrakt výsledného vína (tvoří sladkou chuť i kvalitu vína - vytváří se alkohol); nízký stav těchto cukrů naopak snižuje výsledný alkohol, ve víně dominuje hořkost a kyselost. Všechna vedení dosáhla optimální cukernatosti (min. 21°NM) a zkvasitelné cukry byly v hodnotách 213 – 245 g/l.

Z tabulky analytických hodnot nejsou zřejmé žádné trendy napříč variantami. Přesto kontrolní varianty dosahovaly vyššího asimilovatelného dusíku v bobulích hroznů, ale zároveň i vyšší pH. Koncentrace kyseliny glukonové (podobně jako vyšší pH) ukazuje na napadení hroznů plísní šedou koncem měsíce září. Nejvyšší cukernatosti bylo dosaženo na podnoží SO4 (u všech variant). U podnoží SO4 a Richter 110 byla nejvyšší cukernatost zaznamenána u kontrolních variant, naopak u podnoží Kober 5 BB a Fercal u variant se závlahou (nejvíce u varianty B – kapková v půdě). Obsah kyselin byl obecně vyšší u variant se závlahou.

Grafické srovnání vybraných parametrů mezi variantami ovlivňující výnos:

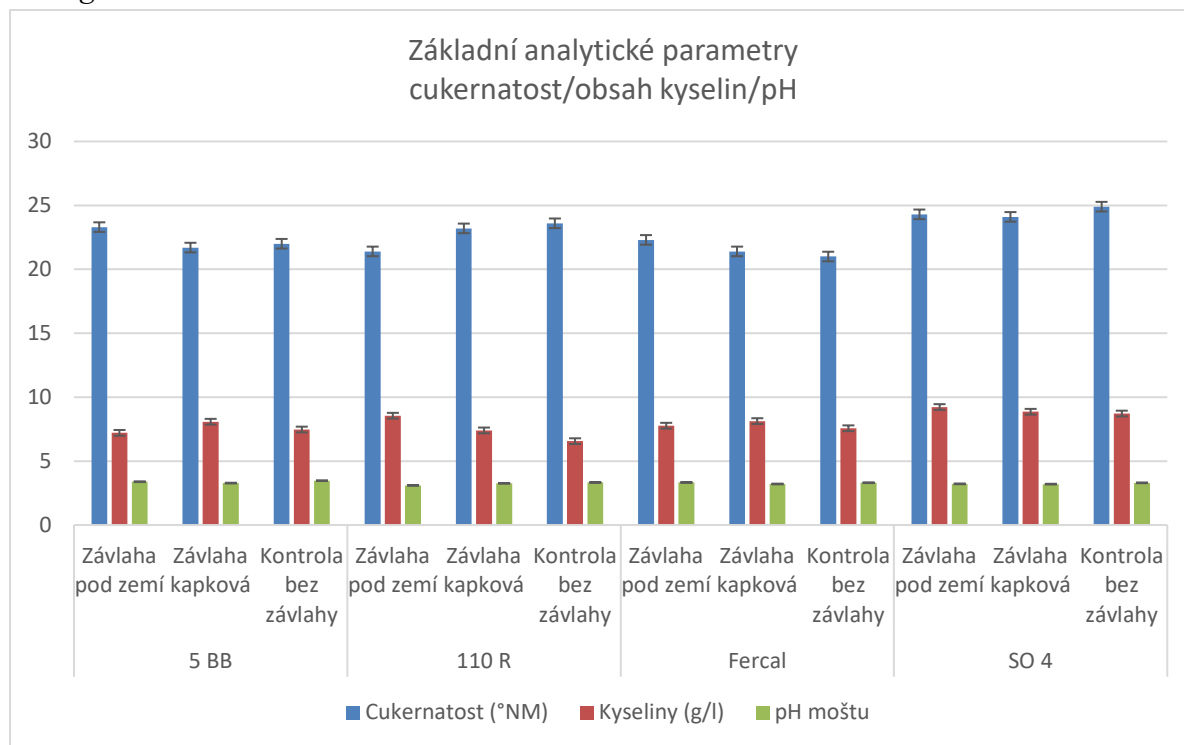




Tabulka 3: Základní analytické parametry hroznů odrůdy Sauvignon sledovaných variant a podnoží u lokality Lednice

Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Asimil.dusík (mg/l)	244	140	288	186	120	209	192	203	232	262	233	275
Zkvas.cukry Glu+fru (g/l)	214	230	219	230	213	233	214	222	208	234	238	245
Cukernatost hroznů (°Bx)	22,4	23,8	22,7	23,7	22,2	24,1	22,2	22,9	21,8	24,5	24,7	25,2
Cukernatost moštu(°NM)	21,7	23,3	22,0	23,2	21,4	23,6	21,4	22,3	21,0	24,1	24,3	24,9
Celk.kyseliny (g/l)	8,08	7,21	7,47	7,4	8,55	6,56	8,13	7,77	7,57	8,86	9,23	8,72
Kys.jablečná (g/l)	1,26	1,19	1,26	0,69	1,27	0,52	1,52	1,09	1,12	0,77	0,84	0,76
Kys. vinná (g/l)	8,29	8,42	7,87	8,15	8,63	6,51	7,92	8,40	7,58	9,32	9,80	8,95
Kys.citronová (g/l)	0,07	0,11	0,06	0,08	0,12	0,06	0,09	0,08	0,07	0,05	0,08	0,03
Kys.glukonová (g/l)	0,00	0,20	0,35	0,06	0,00	0,19	0,00	0,10	0,11	0,00	0,00	0,15
Kys. slizová (g/l)	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Kys. šikimová (mg/l)	1,79	3,92	2,34	2,09	4,28	1,28	2,21	3,22	2,77	1,83	2,38	3,52
pH moštu	3,28	3,39	3,47	3,26	3,10	3,33	3,21	3,33	3,31	3,20	3,22	3,30

Grafické znázornění základních analytických parametrů u sledovaných variant s odrůdou Sauvignon



Z grafu je patrná nejvyšší cukernatost i obsah kyselin u podnože SO 4, ovšem oproti jiným variantám jsou tyto hodnoty poměrně vyrovnané.

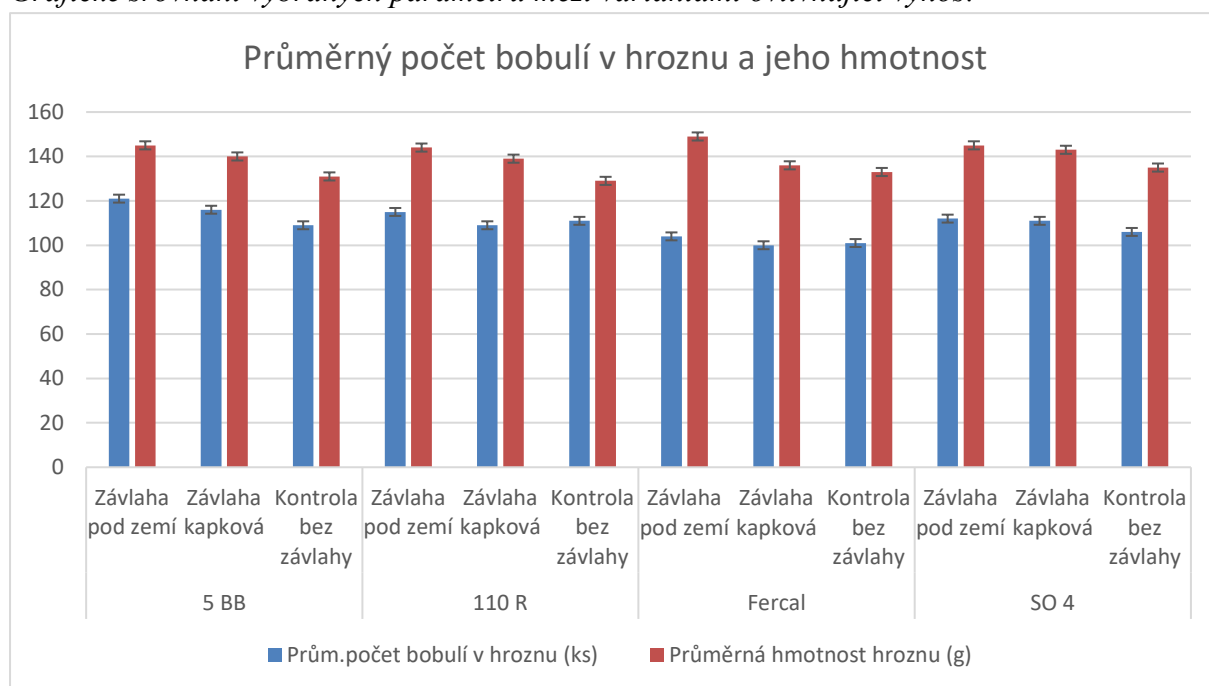
2. Lokalita Kojetice

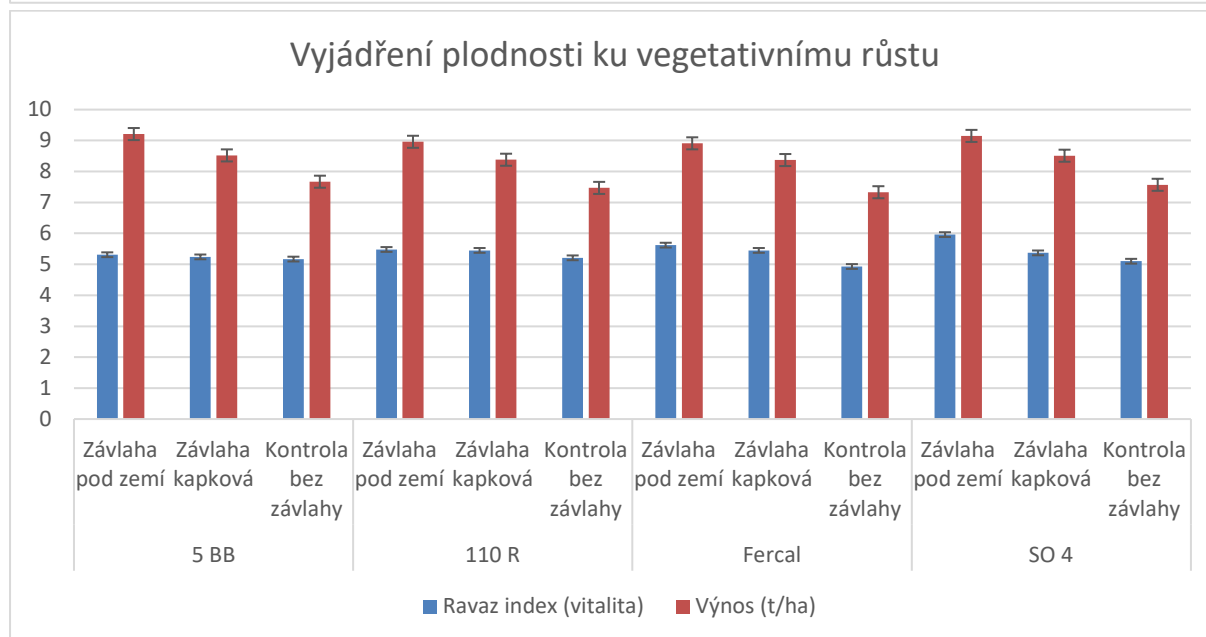
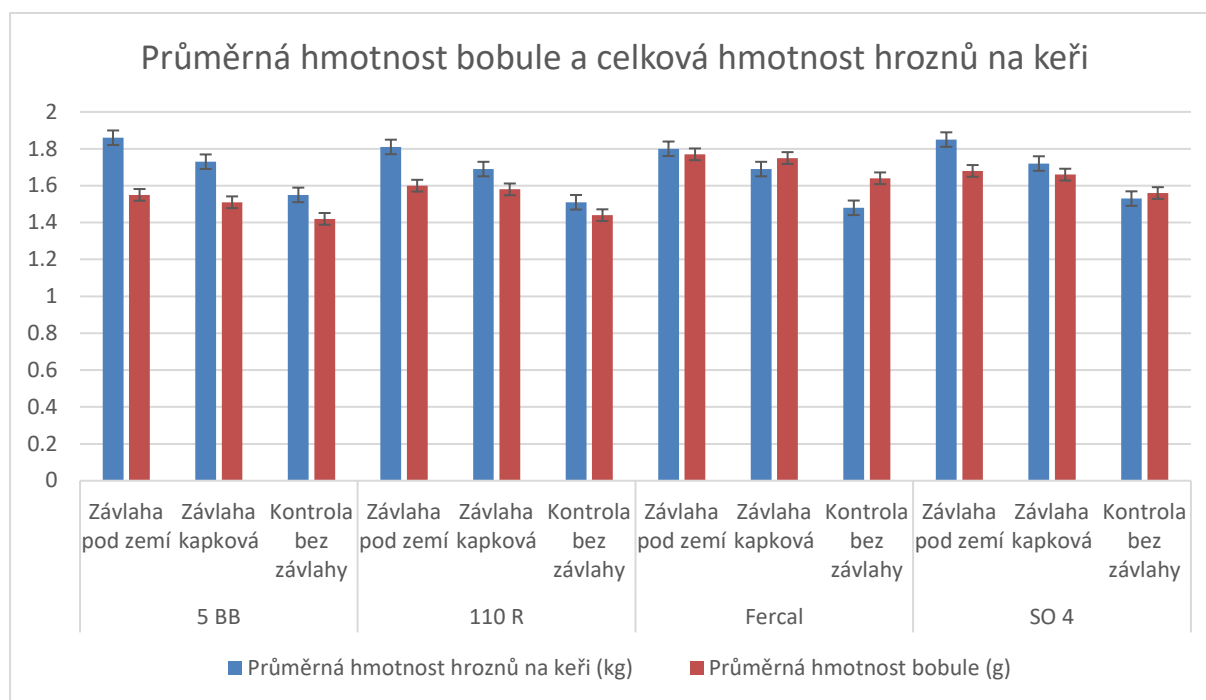
Z tabulky uvologických charakteristik je zřejmé, že i na této lokalitě měla závlaha pozitivní vliv na velikost bobulí a tím pádem i hmotnost hroznů a výnos. Nejlepších výsledků dosahovala varianta B – podpovrchová závlaha. Nejhmotnější (největší) bobule vykazovala podnož Fercal, ale tvořilo se na ní nejméně hroznů. Z hlediska výnosu (i většiny sledovaných parametrů) dominovala podnož Kober 5BB. Hodnoty RI byly na spodní hranici optima a nejvyšších hodnot dosáhla varianta s podpovrchovou závlahou u podnože SO4.

Tabulka 4: Uvologické charakteristiky a RI u lokality Kojetice

Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Počet hroznů na keři (ks)	12,3	12,4	11,9	12,1	12,2	11,6	12,1	12,2	11,4	12,3	12,4	11,8
Počet výhonů na keři (ks)	6,61	6,62	6,44	6,57	6,59	6,32	6,60	6,61	6,40	6,61	6,61	6,33
Koeficient plodnosti	1,86	1,87	1,85	1,84	1,85	1,83	1,83	1,85	1,78	1,86	1,88	1,86
Hmotnost hroznů na keři (kg)	1,73	1,86	1,55	1,69	1,81	1,51	1,69	1,80	1,48	1,72	1,85	1,53
Hmotnost réví (kg)	0,33	0,35	0,30	0,31	0,33	0,29	0,31	0,32	0,30	0,32	0,31	0,30
Ravaz index	5,24	5,31	5,17	5,45	5,48	5,21	5,45	5,62	4,93	5,37	5,96	5,10
Šírka výhonu (cm)	1,13	1,15	1,09	1,10	1,10	1,07	1,13	1,14	1,08	1,12	1,13	1,08
Hmotnost hroznů (g)	140	145	131	139	144	129	136	149	133	143	145	135
Hmotnost bobule (g)	1,51	1,55	1,42	1,58	1,60	1,44	1,75	1,77	1,64	1,66	1,68	1,56
Hmotnost třapiny (g)	7,92	8,01	6,55	7,57	7,89	6,41	7,33	7,42	6,46	7,15	7,22	6,51
Počet bobulí (ks)	116	121	109	109	115	111	100	104	101	111	112	106
Výnos (t/ha)	8,52	9,21	7,67	8,38	8,96	7,47	8,37	8,91	7,33	8,51	9,15	7,57

Grafické srovnání vybraných parametrů mezi variantami ovlivňující výnos:

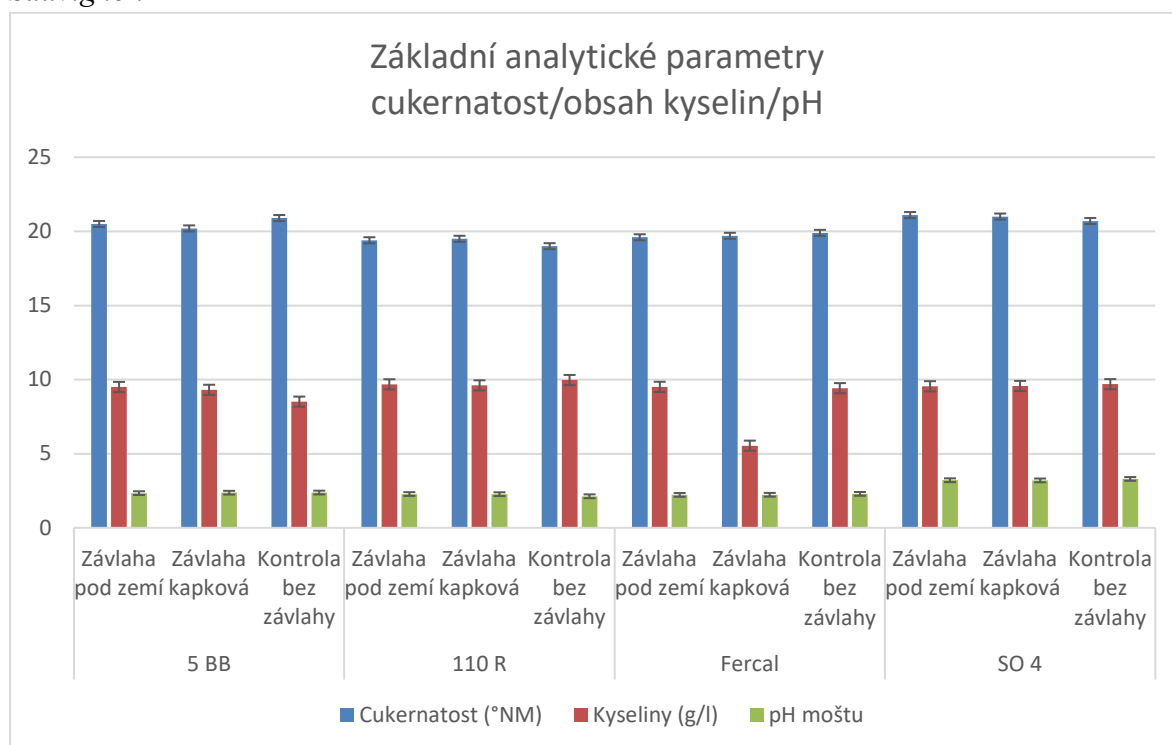




Tabulka 5: Základní analytické parametry hroznů odrůdy Sauvignon u sledovaných variant a podnoží u lokality Kojetice

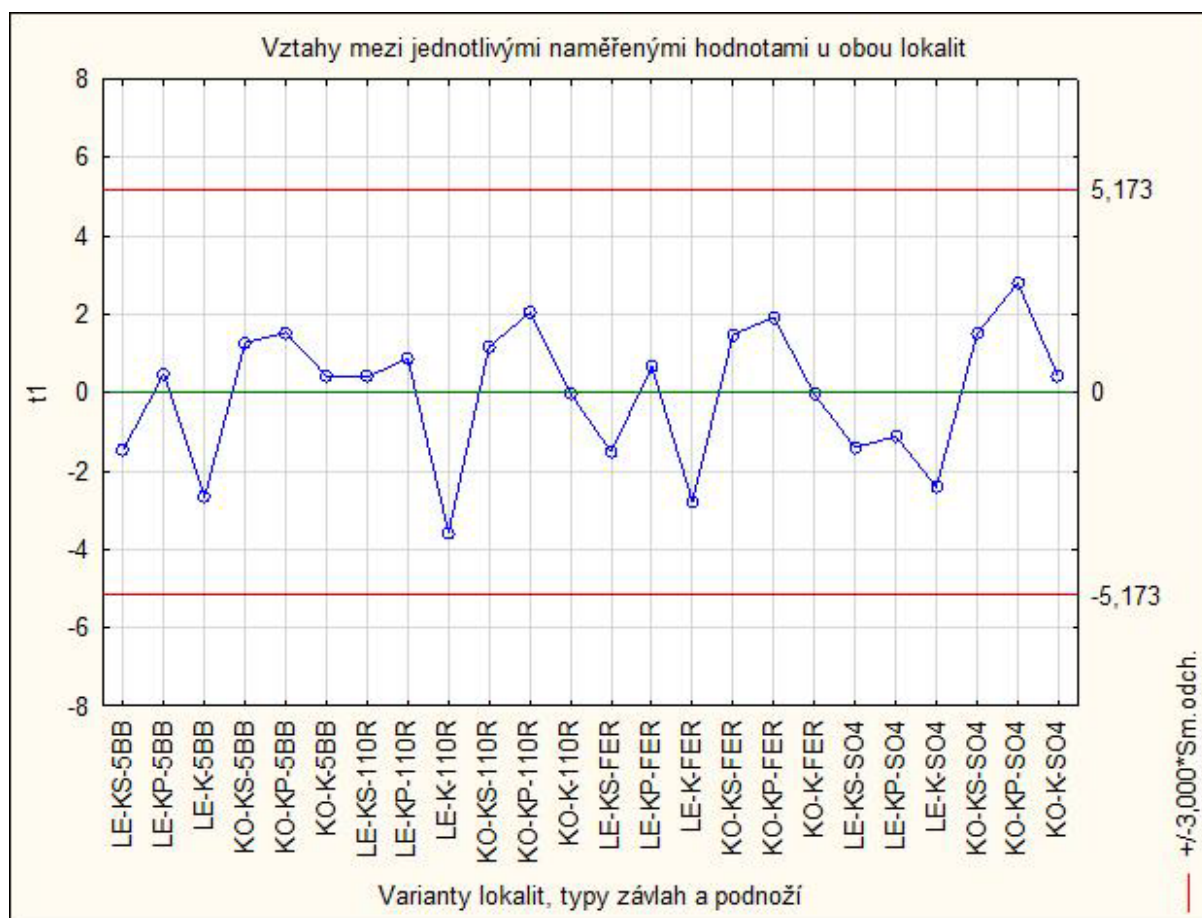
Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Asimil.dusík (mg/l)	282	152	291	182	143	179	213	222	212	232	229	215
Zkvas.cukry Glu+fru (g/l)	206	204	207	195	193	188	222	196	198	208	208	200
Cukernatost hroznů (°Bx)	21,7	21,8	22,2	21,0	20,9	20,6	21,2	21,1	21,4	22,3	22,5	22,2
Cukernatost moštu(°NM)	20,2	20,5	20,9	19,5	19,4	19,0	19,7	19,6	19,9	21,0	21,1	20,7
Celk.kyseliny (g/l)	9,31	9,50	8,51	9,61	9,68	9,97	9,54	9,51	9,42	9,57	9,55	9,69
Kys.jablečná (g/l)	2,09	2,06	1,91	2,20	2,55	2,47	2,19	2,17	2,12	1,89	1,88	1,91
Kys. vinná (g/l)	8,71	8,77	8,57	8,90	9,10	9,15	8,99	8,88	8,81	8,58	8,51	8,55
Kys.citronová (g/l)	0,06	0,07	0,08	0,04	0,06	0,05	0,08	0,09	0,07	0,08	0,09	0,05
Kys.glukonová (g/l)	0,09	0,06	0,10	0,09	0,09	0,11	0,00	0,00	0,10	0,11	0,19	0,30
Kys. slizová (g/l)	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Kys. šikimová (mg/l)	2,22	2,17	2,33	2,05	2,09	1,55	2,52	2,41	2,61	2,58	3,81	2,12
pH moštu	2,37	2,34	2,38	2,27	2,28	2,13	2,23	2,22	2,29	3,20	3,21	3,30

Grafické znázornění základních analytických parametrů u sledovaných variant s odrůdou Sauvignon



Nejvíce asimilovatelného dusíku v hroznech měla kontrolní varianta s podnoží Kober 5BB, nejvyšší cukernatost pak hrozny s podpovrchovou závlahou s podnoží SO4 a nejvíce kyselin pal měla kontrolní varianta s podnoží Richter 110. Ukazuje se, že podnož Richter skutečně brzdí fenofáze a dozrávání, což se projevuje menším obsahem cukernatosti v hroznech a vyššími kyselinami; navíc hrozny vykazovaly nejmenší množství asimilovatelného dusíku v hroznech, patrně díky menším listům.

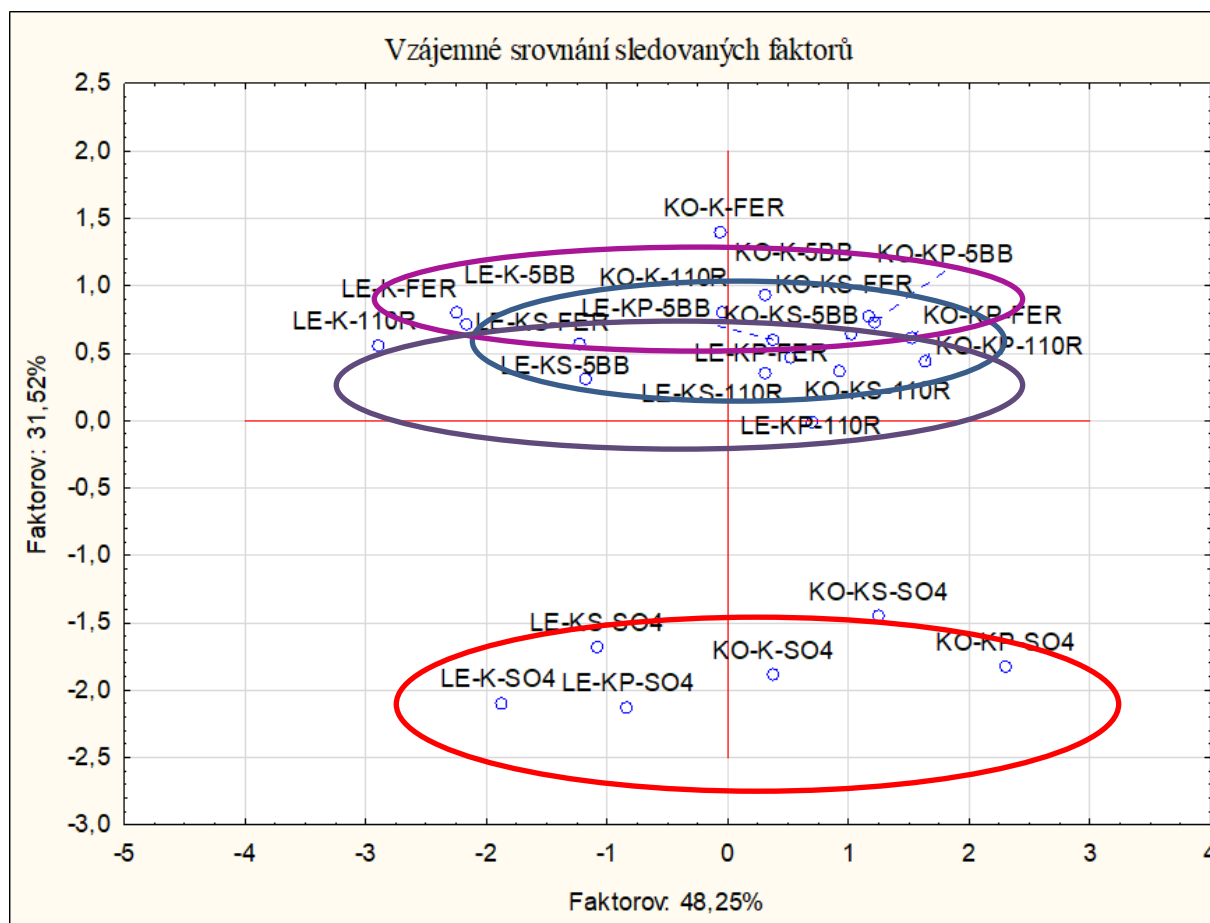
Graf 11 ukazuje souhrnnou PCA analýzu jednotlivých variant oproti nejvýznamnějšímu komponentu V-výnos, kde program stanovil optimum (dle směrodatných odchylek), tj. všechny varianty poblíž této zelené čáry vykazovaly vhodnost použití a střední výnos; varianty výrazně pod čarou (zejména kontrolní varianty v lokalitě Lednice = nízký výnos) či nad čarou (zejména varianty s podpovrchovou závlahou = vyšší výnosy) se pohybovaly mimo toto optimum.



Graf 11: PCA analýza vybraných komponent (RI, výnos, cukernatost, obsah kyselin) vzájemně mezi sebou u všech variant. Legenda: lokality LE – Lednice a KO – Kojetice; závlahy KS – kapková standardní, KP – kapková podpovrchová a K – kontrola bez závlahy; podnože 5BB, 110R, Fercal a SO4.

Následný graf 12 ukazuje vzájemné srovnání všech komponent a sledovaných faktorů, kde lze vidět rozdíly mezi lokalitami LE (Lednice od středu nalevo) a KO (Kojetice od středu napravo); i jednotlivými závlahami K (Kontrolní varianty nalevo) a KS/KP (kapková standard a podpovrchová většinou napravo). Podnože Kober 5BB (modrá množina), Fercal (fialová

množina) a Richter 110 (hnědá množina) vykazovaly dle analýzy obdobné vlastnosti oproti podnoži SO4 (červená množina).



Graf 12: PCA- shluková analýza všech sledovaných komponent vzájemně mezi variantami. Legenda: lokality LE – Lednice a KO – Kojetice; závlahy KS – kapková standardní, KP – kapková podpovrchová a K – kontrola bez závlahy; podnože 5BB, 110R, Fercal a SO4.

DISKUSE

Mladé rostliny poprvé v plodnosti nemívají optimální hodnoty RI (tedy 5-7), protože stále dosti rostou a tvoří se kořenová soustava; přitom i více plodí, proto bývá často nižší cukernatost hroznů a vyšší obsah kyselin /9, 10, 16/, což se projevuje i v této studii. Poměry růstu a plodnosti se upravují postupem času, zhruba od 10 roku po výsadbě v závislosti na výživě, sponu a zatížení keře plodností /17/. Mimo agrotechniky svou roli má i sama lokalita (expozice vinice, směr řad, mikroklima, nadmořská výška, aj.) /18/. S lokalitou souvisí i analytické hodnoty hroznů, zejména pH, obsah cukrů a kyselin. Platí pravidlo, že s každými 100 metry nadmořské výšky klesá teplota přibližně o 0,6 až 1 °C a zároveň poklesne průměrná cukernatost hroznů o 1-1,5 °NM a současně se zvýší obsah kyselin o 0,9 promile /19, 17/. Rozdíl v nadmořské výšce obou lokalit je cca 300 metrů, což by mělo dělat rozdíl cca 3 °NM, ale rozdíl byl cca jen 2 °NM – což ukazuje na velmi dobrou lokalitu pro révu v této nadmořské výšce. Velmi důležitá je tedy i expozice vinice /19/, kde závětrí a dostatek světla a tepla může umožnit dozrání hroznů i v méně vhodných podmínkách /17/. Sádek je historická vinice /20/ značící staletím vyzkoušenou polohu, což dokazují i výsledky srovnávající obě lokality, min. dobrými

analytickými hodnotami hroznů. Studie potvrdila rozdíly v analytických hodnotách mezi lokalitami – cukernatost průměrně cca o 2,7 °NM a obsah kyselin cca o 1,5 g/l. Stejně důležitým efektem pěstování révy ve vyšších polohách, je výrazný rozdíl v teplotách ve dne a v noci. Chladné noci pomáhají k pozvolnému dozrávání hroznů a ve výsledku vedou ke svěžím a energickému charakteru vína. Nadmořská výška navíc často přináší intenzivnější sluneční záření. Hrozny mají tendenci reagovat tím, že vytváří silnější slupky, které mohou vínu propůjčit intenzivnější chuť, hlubší barvy a silnější třísloviny /19/. Použití závlahy obecně zvyšuje výnosy zavlažovaných plodin /21/, což potvrzuje i tato studie u obou sledovaných lokalit. Podnožová odrůda Kober 5BB je charakteristická bujnějším růstem i plodností na ní naštěpovaných odrůd /6, 16/, což se projevilo vyššími výnosy opět u obou lokalit. Dobré byly výsledky u novější podnože Richter 110, která se tak jeví jako zajímavá pro naše současné podmínky. Dle obecných předpokladů se prokázalo, že podnož Fercal je více vhodná pro lokalitu Lednice a podnož SO4 pro lokalitu Kojetice.

S nástupem suchých period v letních měsících se vinohradnictví bez prověřených podnoží pro dané lokality neobejde. Neustále se objevují a zkouší podnože nové (Binova, Amos, Fercal, Ruggeri, Georgikon, aj.) či nové selekce podnoží stávajících, zlepšující jejich vlastnosti (zejména Kober 5BB). Jen dobře zvolené adaptované podnože mohou zmírnit dopady stresu ze sucha a tím pádem i ztrátám na výnosech /14, 17, 18/. Dalším řešením jsou doplňkové závlahy, zejména v prvních letech po výsadbě /4, 21/.

ZÁVĚR

Závlahové systémy a RI

Kapková závlaha pod povrchem se jeví skutečně lepší nežli klasická kapková, neboť díky uložení závlahové hadice do 40 cm hloubky v kačírkovém loži, umožňuje ideální rozvod vody do okolí kapkovače geotropně pozitivním směrem, tzn. směrem dolů, tam kde přirozeně rostou kořeny; dále se minimalizují ztráty na závlahové vodě, což se projevuje větší hmotností bobulí, hroznů i výnosem. Dále se lépe optimalizuje i tzv. „vine balance“ (vyjádřeno jako RI), tj. poměr mezi růstem a plodností keře, což má zásadní vliv na vitalitu a zdravotní stav rostlin. Klasická kapková závlaha (upevněná na vodícím drátu konstrukce) vykazovala také velmi dobré výsledky. Nicméně během jejího použití dochází pod kapkovači vlivem gravitace k erozi půdy a tvorbě škraloupu po vypnutí. Dochází také ke ztrátám vody výparem. Také kořenový systém se nemusí vyvíjet optimálně (kořeny nic nenutí růst ostřeji dolů – závisí také na typu podnože). Nicméně obě závlahové varianty vykazovaly lepší RI než kontrolní varianty, bez ohledu na použitou podnož a měly pozitivní vliv na výnos hroznů. Hodnoty RI byly lepší (více v optimu) v lokalitě Kojetice, patrně díky menšímu vlivu sucha v důsledku vyšších srážek, což podporuje i vyšší výnosy.

Podnožové odrůdy

Všechny testované podnože vykazovaly dobrý růst i plodnost naštěpované odrůdy Sauvignon. Z hlediska výnosu byly u použitých podnoží v daných lokalitách zaznamenány rozdíly. V lokalitě Lednice byl nejvyšší výnos u podnože Richter 110 a Kober 5BB (následovaly Fercal a SO4) s hodnotami nad 8 t/ha u varianty s podpovrchovou závlahou. V lokalitě Kojetice pak u podnože Kober 5BB (následovaly SO4, Richter 110 a Fercal) s hodnotami nad 8,5 t/ha, opět u varianty s podpovrchovou závlahou.

Lokality

Dle výsledků analytických hodnot hroznů (zejména pH, obsah cukrů a kyselin) se obě lokality hodí pro danou odrůdu Sauvignon blanc. Hrozny všech variant obsahovaly dostatek cukrů (v rozmezí jakostních vín) i kyselin. Na lokalitě Kojetice bylo dosaženo vyšších výnosů, ovšem s nižší vyžralostí hroznů (nižší cukernatost a vyšší kyseliny). I přes rozdílnou nadmořskou výšku i podloží (půdy), nejsou rozdíly tak vysoké, jak se očekávalo (patrně díky lokalitě a dobré předvysadbové přípravě půdy – úprava pH a hnojení). V budoucnu bude třeba zaměřit se i na klonový materiál odrůdy Sauvignon, pro lepší vyjádření terroir daných vinic.

LITERATURA

- /1/ Žalud, Z., Růžicková, M.: Současný problém sucha v ČR. AV ČR, Expertní stanovisko 3/2019. <https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/files/2019-03.pdf>
- /2/ Brázdil, R., Tnka, M.: Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. CVGZ AV ČR, 2015. ISBN 978-80-87902-11-0
- /3/ MZe- SZIF: Podpora kapkové závlahy v sadech, vinicích, chmelnicích a školkách. 2025. <https://szif.gov.cz/cs/nd-dotacni-programy>
- /4/ Sklenička, P., Kottová, B., Černý-Pixová, K., Kravka, M.: Závlahy v České republice – východiska směrem k adaptaci na klimatickou změnu, Souhrnná zpráva, ČZU – Fakulta životního prostředí, Praha 2020.
- /5/ AZ Aqua Czech s.r.o. Závlahové systémy. 2024. <https://azaqua.cz/>
- /6/ Plant Grape (INRA, IFV): Catalogue of grape vines cultivated in France. 2025. <https://www.plantgrape.fr/en/varieties/rootstock-varieties>
- /7/ Galet, P.: Cépages et vignobles de France. Ed. Dehan, Montpellier, Francie. 1988.
- /8/ Smart, R.: Vine rootstocks in the *Oxford Companion to Wine* 4th edition ed. Jancis Robinson and Julia Harding MW, Oxford University Press, 2015, p.628.
- /9/ Vance A.J., Skinkis P.: Understanding vine balance: an important concept in vineyard management Book Understanding vine balance: an important concept in vineyard management. Oregon State University. 2013.
- /10/ Vance A.J.: Impacts of crop level and vine vigor on vine balance and fruit composition in Oregon Pinot noir. Oregon university. 2012.
- /11/ Keller, M.: The science of grapevines: Anatomy and physiology; Academic Press/Elsevier: Amsterdam Boston, 2010. ISBN 978-0-12-374881-2.
- /12/ Kraus, V.: Korelace při tvarování révy ve vztahu k agrotechnickým opatřením. Závěrečná zpráva č. VI-4-3 (VI-1)/1980, VŠZ Brno.
- /13/ Ravaz, M.K.: Influence spécifique réciproque du greffon et du sujet chez la vigne. Bulletin de la Société Botanique de France, 50, 1903: 87-100.
- /14/ Těthal, J., Sochor, J., Sotolář, R., Pavloušek, P., Baroň, M., Danko, R., Kaplan, M., Klimek, K.: A study on effects of rootstocks on vine balance of 'Cerason' cultivar. Horticultural Science (Prague), 52, 2025: 202-214.
- /15/ Sotolář, R.: Srovnání uvologických a analytických parametrů u různého typu vedení révy. Vinař – sadař, 1, 2023: 30-33.
- /16/ Kraus, V.: Vinohradnictví II: Základní agrotechnika révy vinné. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1983.
- /17/ Kraus, V., Kraus, V. ml.: Pěstujeme révu vinnou. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0562-1.
- /18/ Pavloušek, P.: Pěstování révy vinné v zahradách. Brno: CP Books a.s., 2005. ISBN 80-251-0840-6.
- /19/ Pavloušek, P.: Pěstování révy vinné – moderní vinohradnictví, Grada Praha, 2024 (druhé rozšířené vydání). ISBN 9788027131662.
- /20/ Lampíř, L.: O vinařství Sádek s.r.o. 2024. <https://vinarstvisadek.cz/>
- /21/ Litschmann, T., Pražák, M.: Praktické zkušenosti s fertigací hrušní. Zahradnictví, 2/2008: 14-15.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

HODNOCENÍ VLIVU RŮSTU RÉVY PŘI VYUŽITÍ RŮZNÝCH PODNOŽÍ A HLINITOKŘEMIČITÉHO MINERÁLU V SIMULOVANÝCH SUCHÝCH PODMÍNKÁCH

EVALUATION OF THE EFFECT OF GRAPEVINE GROWTH USING DIFFERENT ROOTSTOCKS AND ALUMINOSILICATE MINERAL IN SIMULATED DRY CONDITIONS

Radek Sotolář¹, Tomáš Rýgl², Lubomír Lampíř², Oldřiška Sotolářová¹, Ludmila Fibingrová¹,
František Hnilička²

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství,
Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin,
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, rygl@af.czu.cz

Summary

The study monitors the growth of several grape varieties grafted onto several rootstocks in a purely acidic peat environment (peat with perlite substrate) + peat with zeolite. The experiment was conducted for 3 years in a greenhouse with simulated dry conditions (higher temperatures and limited irrigation). The main parameters monitored were uvological parameters (number of leaves, length and width of the shoot, weight of the bunch, number of berries, etc.), fluorescence and gas exchange. The experiment showed that the rootstocks of the Kober series were the most vigorous in growth with the longest shoot and number of leaves on it, but the most fruitful (in terms of grape weight and number, including the weight of the bunch) was the SO4 rootstock. The variants using zeolite showed better values, especially in the second and third years. In terms of drought stress elimination, the varieties Sauvignon, Pinot Noir and Riesling on Kober 5 BB rootstock performed best. A completely opposite trend was found for Chardonnay and Riesling on SO4 rootstock in the variant with zeolite. Lower fluorescence and gas exchange values were achieved by varieties grown on Fercal rootstock, and on the contrary, Kober and Richter rootstocks appear to be suitable for drier areas and lower pH.

Key words: rootstocks, zeolit, vine uvology, fluorescence, reflektance, gas exchange

Souhrn

Studie sleduje růst několika odrůd révy, naštěpovaných na několika podnožích, v čistě kyselém prostředí rašeliny (substrát rašelina s perlitem) + rašelina se zeolitem. Pokus probíhal po 3 roky ve skleníku se simulací suchých podmínek (vyšší teploty a omezená zvlaha). Sledovaly se zejména parametry uvologické (počet listů, délka a šířka výhonu, hmotnost hroznů, počty bobulí, aj.), fluorescence a výměna plynů. Z pokusu vyplynulo, že podnože řady Kober jsou sice nejbujnější v růstu s nejdelším výhonem a počtem listů na něm, ale nejplodnější (z hlediska hmotnosti hroznů a jejich počtu, včetně hmotnosti třapiny) se jevila podnož SO4. Zejména v druhém a třetím roce pak lepších hodnot vykazovaly varianty s použitím zeolitu. Z hlediska eliminace stresu ze sucha vycházely nejlépe odrůdy Sauvignon, Rulandské modré a Ryzlink

rýnský na podnoži Kober 5 BB. Zcela opačný trend byl zjištěn u odrůd Chardonnay a Ryzlink rýnský na podnoži SO4 u varianty se zeolitem. Nižší hodnoty fluorescence a výměny plynů dosahovaly odrůdy pěstované na podnoži Fercal a naopak jako vhodné pro sušší oblasti a nižší pH se jeví podnože typu Kober a Richter.

Klíčová slova: podnože, zeolit, uvologie, fluorescence, refraktance, výměna plynů

ÚVOD

Réva patří mezi významné kulturní plodiny, pěstované celosvětově v různých podmínkách, tj. na různých půdách, v různých nadmořských výškách atd. Pěstování révy v takto odlišných podmínkách je možné zejména díky podnožovým odrůdám /1/. Nicméně díky rychleji měnícím se podmínkám (zejména zvyšující se sucho) se i v ČR začínají testovat také další podnožové odrůdy využívané více na jihu Evropy (Richter, Ruggeri) nebo podnože novější (Binova, Fercal, Börner) /2/. V posledních letech dochází k rychlejšímu nárůstu průměrné globální teploty, což má za následek tzv. globální oteplování, resp. různé dopady na klimatický systém. V případě vinic jižní Moravy, pozorujeme významnější výkyvy teplot během roku, což má za následek zejména mírnější zimu a časnější nástup do jednotlivých fenofází (zejména rašení), rychlejší průběh kvetení, horká a suchá léta, často delší slunečný podzim. Také množství srážek se během roku mění a pomalu klesá, což má za následek pokles spodní vody a její výrazný deficit zejména během léta /3/. Půdy, na kterých réva roste jsou většinou chudé na organickou hmotu a velmi výsušné, často také s omezeným rostlinným pokryvem /4/. Moderní podnože budou muset zvládnout dobře růst na chudých půdách i za sušších podmínek (bude nutný vyšší kmínek k regulaci rašení a omezení vlivu jarních mrazíků), bujnost růstu však nesmí příliš ovlivnit velikost hroznů (tzn. nesmí příliš zvyšovat výnosy), keře musejí být zároveň dostatečně vzdušné (delší internodia umožňují vzdušnost a omezují napadení houbovými chorobami), musejí být také dobře fotosynteticky aktivní (růst a tvorba zásobních látek – kvalitativní parametry hroznů), tj. dobrá tvorba monosacharidů se zachováním dostatku kyselin i při vyšších letních teplotách /1/. Nicméně krom podnoží se testují i další možnosti, jak omezit vysoké teploty koncem léta, např. ozelenění příkrmenného pásu speciálními rostlinami. Podnože by měly zvládnout i celoozelenění vinice (meziřadí + příkrmenný pás), neboť porost pod keři tlumí vysoké teploty koncem léta /3/. Další možností je využití různých hlinitokřemičitých minerálů v půdě (zeolity), hydrokompostů, biostimulantů, atd. /5, 6, 7/. Zeolity mají široké využití v zemědělství /8/. Díky krystalové struktuře zeolitu je jeho pórovitost poměrně vysoká a dokáže absorbovat vodu až do výše 60 % své hmotnosti. Díky této vlastnosti se v zemědělství používá ke zvýšení kapacity půdy pro zadržování vody a omezení stresu rostlin / 9/, neboť dopady sucha se budou zhoršovat vlivem rostoucích teplot, které jsou spojeny s globálním oteplováním /10/. Podle Yanga a kol. /11/ může sucho inhibovat dýchání rostlin, fotosyntézu a pohyb průduchů, čímž ovlivňuje růst a metabolismus rostlin. Vzhledem ke složitosti biologických procesů mezi nadzemními a podzemními orgány a pletivý je nezbytné porozumět společným a specifickým profilům genové exprese a metabolitům spojeným se stresem v rezistenci révy vinné vůči suchu /12, 13/. Za podmínek nedostatku vody se růst kořenů stává výhodnějším než růst listů /14/. Mezi vizuální příznaky nedostatku vody během vegetačního období patří vadnutí listů a změny v počtu a ploše listů /15/. Důvodem poklesu obsahu chlorofylu v listech může být degradace chlorofylu přímo způsobená suchem,

jak potvrzují Monteoliva a kol. /16/; Khayatnezhad a Gholamin /17/ u pšenice tvrdé, což má za následek změnu barvy listů – žloutnutí, hnědnutí /18/. Dále se jedná o změnu velikosti listů, jejich srolování a žloutnutí okrajů. Sucho dále potlačuje vývoj listů, což následně ovlivňuje fotosyntézu, syntézu chlorofylu, transpiraci, dýchání a metabolismus sacharidů, což v konečném důsledku snižuje růst rostlin. /19/. Environmentální stresy jsou skutečně jedním z nejdůležitějších problémů současnosti, které omezují produktivitu plodin /9/.

MATERIÁL A METODY

Pokus probíhal ve studeném skleníku ZF MENDELU v Lednici (47.8025658N, 18.4402003E) po 3 vegetační období, kde byla réva (v počtu 3 ks od varianty) vysazena na podzim roku 2022 do 1m hlubokých betonových žlabů. U první varianty byl použit běžný výsadbový rašelinový substrát Profimix 1 Agro.cz (složení: 80 % rašelina bílá ve frakcích, 20 % rašelina černá, jílový minerál 15 kg/m³, vyhnojení 0,7 kg/m³, koncentrát mikroprvků Micromax Premium, zvlhčovací činidlo, pH 5,5-6,5) u druhé varianty pak byl přimíchán i zeolit MPZ 1-2,5 mm od firmy Zeopol (20 %). Závlaha byla nastavena zpočátku 3x týdně v dávce 15-25 l/m², v létě pak omezena na 2x týdně (červenec-srpen). Kromě substrátů byl sledován zejména vliv podnožové odrůdy na naštěpovanou odrůdu v daných podmínkách (kyselejší pH a sucho). Použity byly středně až pozdně zrající standardní odrůdy révy: Chardonnay, Rulandské modré, Sauvignon a Ryzlink rýnský; a podnože Kober 5BB, Kober 125AA, SO4, Richter 110 a Fercal, vždy po 5 kusech od každé varianty (sazenice zakoupeny od firem Pemag Mikulov a Tsida Illmitz).

Stručný popis sledovaných podnoží

Kober 5 BB (5 BB): Tato podnožová odrůda je výsledkem křížení mezi druhy *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* (Sigmund Teleki a Franz Kober, 1896). 5BB je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry i k hád'átkům rodu *Meloidogyne*. Na druhou stranu je citlivější na *Agrobacterium vitis*. Novější selekce těchto podnoží odolávají až 35 % „celkového“ vápníku v půdě (CaO, CaCO₃) a zhruba 20 % „aktivního“ vápníku (Ca²⁺). Odolnost vůči chloróze vyvolanou nedostatkem či nadbytkem železa je střední až dobrá. 5BB je také dobře přizpůsobena vlhkým podmínkám a zejména písčítým půdám (má hlubší kořenový systém). Rychlost růstu a produkce hmoty je za optimálních půdních podmínek velmi vysoká (až na úkor plodnosti), proto se tato podnož spíše využívá do chudších sušších písčitých či kamenitých půd, které brzdí její růst /20/.

Kober 125 AA (125AA): Tato odrůda je stejně jako předchozí výsledkem křížení *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* Sigmundem Telekim a Franzem Koberem v roce 1896. 125AA je také vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry a snáší dobře i vápenité půdy. Není vhodná do mělkých, suchých a příliš kamenitých půd, naopak snese i půdy těžší. Odolnost vůči chloróze železa je považována za nízkou až střední a zdá se, že je náchylnější k nadměrné jarní vlhkosti v půdě. Rychlost růstu a produkce hmoty je o něco slabší než u předchozí 5 BB /21/.

Selection Oppenheim 4 (SO4): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* Sigmundem Telekim a Heinrichem Fuhrem, v roce 1896. SO4 je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry. Velmi dobrá je i odolnost vůči hád'átkům. Odolnost vůči vápenitým půdám je dobrá, vyhovují jí však kyselé půdy a je poměrně tolerantní k chloridům. Odolnost SO4 vůči suchu je střední až nízká. Rychlost a bujnost růstu rostlin naroubovaných na SO4 je velmi vysoká, zejména v první části života révy (prvních 15 let). Odrůdy naroubované na SO4

produkují vysoké výnosy, počínaje prvními roky po výsadbě, což někdy vyžaduje probírky hroznů /21/.

Fercal: Na základě genetických analýz provedených v Montpellier je tato odrůda výsledkem křížení Berlandieri-Colombard 1 B (z křížení mezi *Vitis berlandieri* a *Vitis vinifera* cv. Ugni blanc) a 31 Richter (z křížení mezi *Vitis berlandieri* cv. Ressenaguier 2 a *Vitis longii* cv. Novomexicana; INRA, 1959). Fercal je velmi vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry. Hlavní vlastností je dobrá afinita a velmi vysoká odolnost vůči chloróze a přizpůsobení se vápenitým půdám. Podnož snáší poměrně dobře vlhké jarní podmínky, ale její odolnost vůči suchu je jen střední. Rychlost růstu a nasazování plodů je dobrá. Bujnost růstu je zpočátku střední až vysoká /20/.

Richter 110 (110 R): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* cv. Rességuier n°2 a *Vitis rupestris* cv. Martin od Franze Richtera, 1902. Je dobře přizpůsobena suchu (vytváří hluboký kořenový systém) a proto se využívá na chudší kamenité kyselejší půdy. Je citlivější na přebytek vody v půdě a vápenité půdy obecně. 110 R má vysokou toleranci k révokazu a nízkou toleranci k hád'átkům. Podporuje plodnost, ale na druhou stranu zpomaluje růstový cyklus a dozrávání, zejména v úrodných půdách /22/.

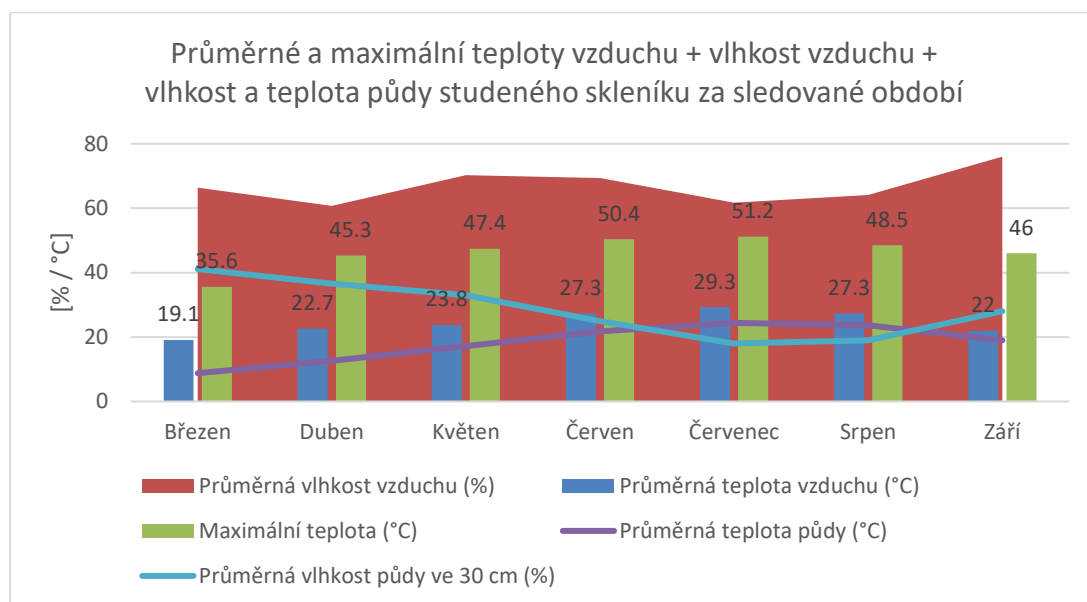
Uvologická a analytická měření

Rostliny révy držíme každoročně jen s 1 letorostem (výhonem), který se příští rok opět seřízne na 1 pupen) a měříme na něm: průměrnou délku výhonu, šířku, délku internodia a počet listů (upravená metodika dle Kraus a Sotolář /23, 24/): *Délka a šířka výhonu* = bujnost růstu – předpokladem bujného růstu je i rychlejší tvorba většího kořenového systému nutného do našich nastupujících sušších podmínek. Horká a suchá léta bujný růst utlumují. *Počet listů* = souvisí s růstem a délkou internodií, ale také se jedná o odrůdovou vlastnost (zejména u odrůdy Sauvignon) a předpokladem je, že čím více zdravých fotosynteticky aktivních listů, tím více budou mít zralé hrozny vyšší cukernatost. *Délka internodií* = souvisí s růstem a počtem listů, kratší internodia mají odrůdy s menším listem a jejich větším počtem (Sauvignon), bohužel však s hustým habitem (tvoří méně vzdušné keře), což vede k možnému nárůstu houbových chorob, zejména padlí. Delší internodia mají odrůdy s většími listy (např. Frankovka či Ryzlink), které bývají naopak citlivější na plíseň révovou. *Hmotnost hroznů* = vyšší hmotnost hroznů souvisí často s větším počtem bobulí v hrozně nebo jejich vyšší hmotností a přímo se odráží ve výnosu. *Hmotnost bobule* = je odvislá od počtu bobulí v hrozně. *Hmotnost třapiny* = hmotnější třapinu mají odrůdy s větším hroznem a varianty s výživou (dusíkem) a většími bobulemi. Pro určení cukernatosti v bobulích byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity šuplery a laboratorní digitální váhy značky Kern.

Měření fyziologických parametrů

Výměna plynů v listech (rychlost fotosyntézy a transpirace) se měřila na zcela rozvinutém listu, v centrální části listové čepele, *in situ*. Čistá rychlost fotosyntézy (PN; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a substomatální koncentrace CO_2 (Ci; mol l^{-1}) byly měřeny nedestruktivní metodou za použití integrovaného fluorometru a systému výměny plynů – iFL (ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, UK). Rychlost výměny plynů byla měřena ráno (8-13 h UTC) při hustotě ozáření $650 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a teplotě 25 °C dle modifikované metodiky Holé et al. /25/.

Dále byly sledovány parametry fluorescence, kdy fluorescence byla měřena na stejných listech jako rychlost fotosyntézy. Jednalo se o maximální kvantový výtěžek fotosystému II (F_v/F_m), poměr maximální fluorescence k počáteční fluorescenci (F_m/F_0) a poměr variabilní fluorescence k počáteční fluorescenci (F_v/F_0). Pro měření parametrů fluorescence byl použit integrovaný fluorometr a systém výměny plynů – iFL (ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, UK).



Graf 1: Teploty a vlhkosti v pokusném skleníku za vegetační období březen-září (v roce 2024)

Z grafu je patrná simulace sucha zejména v období červenec – srpen (vysoké maximální teploty i přes intenzivní větrání + vyšší teplota půdy) umožňující navození stresových podmínek pro sledované rostliny.

Tabulka 1: Experiment – schéma pokusu

Varianta 1a - rašelina	Variety	Rootstock	Varianta 1b - zeolit	Odrůda	podnož
	Chardonnay	Kober 5 BB		Chardonnay	Kober 5 BB
	Chardonnay	Kober 125 AA		Chardonnay	Kober 125 AA
	Chardonnay	SO 4		Chardonnay	SO 4
	Chardonnay	Richter 110		Chardonnay	Richter 110
Varianta 2a - rašelina	Sauvignon blanc	Kober 5 BB	Varianta 2b - zeolit	Sauvignon blanc	Kober 5 BB
	Sauvignon	SO 4		Sauvignon	SO 4
	Sauvignon	Richter 110		Sauvignon	Richter 110
	Sauvignon	Fercal		Sauvignon	Fercal
Varianta 3a - rašelina	Ryzlink rýnský	Kober 5 BB	Varianta 3b - zeolit	Ryzlink rýnský	Kober 5 BB
	Ryzlink rýnský	Kober 125 AA		Ryzlink rýnský	Kober 125 AA
	Ryzlink rýnský	SO 4		Ryzlink rýnský	SO 4
Varianta 4a - rašelina	Rulandské modré	Kober 5 BB	Varianta 4b - zeolit	Rulandské modré	Kober 5 BB
	Rul. modré	Fercal		Rul. modré	Fercal

Statistické vyhodnocení

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byly použity základní statistické metody, jako je ANOVA a Tukeyho test, včetně novější PCA metody (Principal component analysis). Vícerozměrné metody umožňují znázornit a popsat vícerozměrná data, zjišťovat vztahy mezi jednotlivými proměnnými vs danými subjekty; a projekce sledovaných proměnných do faktorové roviny udává také vzájemnou možnou závislost mezi sledovanými proměnnými (komponenty). Ke zpracování vícerozměrných dat byl použit program Statistika14.

VÝSLEDKY A DISKUSE

V prvním roce po výsadbě (2022) se hodnotil jen nárůst biomasy pomocí sledovaných uvologických parametrů jako průměrná délka výhonu, jeho šířky dole u báze, délky samotných internodií a s tím související počet plně vyvinutých listů. Předpokladem bylo, že nejintenzivněji porostou odrůdy na bujnějších podnožích /1, 2/ s preferencí kyselějšího pH substrátu (např. 5 BB a 110 R) s přidavkem zeolitu /9/. Sledované naměřené uvologické charakteristiky u jednotlivých variant ukazuje tabulka 2 (nejvyšší hodnoty jsou zvýrazněny tučně).

U odrůdy Chardonnay měla nejintenzivnější růst (délka a šířka výhonu) podnož 5 BB v čistě rašelinném substrátu, pak podnož 110 R v substrátu se zeolitem, a SO4 a 125 AA v rašelinném substrátu. Varianty se zeolitem vykazovaly většinou kratší internodia a menší prům. šířku výhonu; tj. nevykazovaly tedy tak bujný růst. I u odrůdy Sauvignon měla nejintenzivnější růst podnož 5 BB opět v čistě rašelinném substrátu, opět následovaná podnoží 110 R v substrátu se zeolitem (zde byla největší i šířka výhonu), pak SO4 a Fercal v rašelinném substrátu. U odrůdy Ryzlink rýnský ale měla nejintenzivnější růst podnož SO4 v substrátu se zeolitem, těsně následovaná podnoží 5 BB v čistě rašelinném substrátu. U odrůdy Rulandské modré podobně jako u Chardonnay (obě odrůdy patří do skupiny Pinot) měla intenzivnější růst podnož 5 BB v čistě rašelinném substrátu oproti podnoží Fercal (ta měla zase větší internodia).

Obecně tedy můžeme tvrdit, že v prvním roce po výsadbě byly všechny sledované parametry nejvyšší u podnože Kober 5BB čistě v rašelinném substrátu (bez ohledu na naštepovanou odrůdu). Toto se částečně očekávalo, díky tomu, že podnož Kober 5 BB je přednostně určena do kyselějších půd a má mít z testovaných podnoží nejbujnější růst /20/. Velmi bujně však rostly i další podnože (dle délky výhonu) v kombinacích: Richter 110 v substrátu se zeolitem, SO4 v čistě rašelinném substrátu a Kober 125 AA taktéž v rašelině. Vliv zeolitu tak zatím nebyl průkazný.

V druhém roce po výsadbě (2023) po zimním seříznutí výhonu na 2 pupeny, se opět hodnotily shodné parametry + přibyla i cukernatost z prvních hroznů. U odrůdy Chardonnay měla tentokrát nejintenzivnější růst (délka výhonu a počet listů) podnož 125 AA v substrátu se zeolitem (zároveň zde byla naměřena nejkratší internodia), pak 110 R opět v substrátu se zeolitem a velmi bujně rostla i varianta s podnoží 125 AA v čistě rašelinném substrátu. Varianty v rašelinném substrátu dosahovaly obecně mohutnější šířky výhonu, ale varianty se zeolitem měly vyšší počet listů a tím i vyšší cukernatost hroznů. U odrůdy Sauvignon měla nejintenzivnější růst podnož 110 R v substrátu se zeolitem (délka výhonu i počet listů), pak opět 110 R, ale v čistě rašelinném substrátu, následovaly podnože Fercal a SO4 v substrátu se zeolitem. Opět vyšších cukernatostí dosahovaly většinou varianty se zeolitem. U odrůdy Ryzlink rýnský měla nejintenzivnější růst varianta s podnoží 5 BB v substrátu se zeolitem, následovaná podnoží 125 AA také v substrátu se zeolitem; nejvyšší cukernatost byla naměřena

u varianty 125 AA v čistě rašelinném substrátu, těsně následovanou variantou SO4 v substrátu se zeolitem. U odrůdy Rulandské modré měla nejintenzivnější růst i cukernatost varianta s podnoží Fercal v substrátu se zeolitem. Arsan a kol. /9/ uvádí, že pozitivní vliv zeolitu se nemusí projevit ihned, ale pozvolna a postupně, dle typu použitého zeolitu a dávky; a interakce s půdou, respektive živinami v ní obsažené + její vlhkostní parametry a teplota, které pak přímo ovlivňují příjem živin a růst. Seříznutím hlavního výhonu se podpoří bujnější růst letorostu (je již vytvořena kostra kořenového systému) a jeho rovný přímočarý růst vzhůru (vlastnosti liány) – tvorby rovného kmínku/26/.

Tab. 2: Naměřené uvologické hodnoty za první rok pokusu (září 2022)

2022 - první rok (výsadbě na jaře)		Kober 5BB		Kober 125AA		Richter		SO4	
	10.08.2022	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
Chardonnay	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	37	49	28	36	36	38	31	33
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	177	365	165	250	273	210	174	260
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,8	1,1	0,73	0,93	0,8	0,97	0,83	0,87
	Prům.délka internodia (cm)	5,57	5,71	5,5	5,58	5,42	5,92	5,5	6,42
		Kober 5BB		Richter		SO4		Fercal	
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
Sauvignon	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	33	43	40	35	36	39	30	33
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	145	320	220	203	160	256	113	190
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1	1,13	1,23	1,03	1,07	1,07	0,77	0,77
	Prům.délka internodia (cm)	5,8	6,57	4,33	5,67	5,43	6,8	4,25	5,08
		Kober 5BB		Kober 125AA		SO4			
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina		
Ryzlink rýnský	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	28	35	30	33	35	33		
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	160	250	175	189	280	240		
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,73	0,8	0,8	0,8	0,9	0,77		
	Prům.délka internodia (cm)	5,8	7	5,8	7,4	7	6,6		
		Kober 5BB		Fercal					
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina				
Rulandské modré	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	38	47	20	39				
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	187	240	75	218				
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,77	0,87	0,53	0,83				
	Prům.délka internodia (cm)	4,17	5	5,17	5,43				

V druhém roce lze pozorovat bujnější růst (mimo bujně rostoucí v prvním roce zmiňované 5 BB) zejména u podnože 125 AA a dosti bujně rostly i varianty s podnoží 110 R. Varianty substrátu se zeolitem měly vyšší počet listů a tím i vyšší cukernatost hroznů.

V třetím roce po výsadbě (2024) se hodnotily shodné růstové a analytické parametry (hlavně délka výhonu a počet listů + cukernatost), ale přibýly i parametry výnosové (hmotnost hroznů a bobulí) a výpočet listové plochy. U odrůdy Chardonnay ve sledovaném třetím roce rostla nejbujněji varianta s podnoží Kober 5BB, zejména v substrátu se zeolitem (nejvyšší délka i šířka výhonu i počet listů); nejhmotnější a největší bobule měla však podnož Kober 125 AA (zeolit i rašelina); největší hmotnost hroznů a počet bobulí v hrozně pak SO4 v rašelině a nejvyšší cukernatost shodně SO4 a 125 AA v substrátu se zeolitem. Varianty substrátu se zeolitem již zcela dominovaly – delší i širší výhony, více listů a vyšší cukernatost. U odrůdy Sauvignon rostla nejbujněji varianta s podnoží 110 R opět s přidavkem zeolitu (délka, šířka výhonu i počet listů); největší hmotnost hroznů a počet bobulí v hrozně pak měla varianta s podnoží Fercal (rašelina i zeolit); nejvyšší cukernatost opět podnož SO4 (zeolit i rašelina).

Vyšší vitalitu a růst vykazovaly opět více varianty substrátu se zeolitem, včetně vyšší cukernatosti hroznů.

Tab. 3: Naměřené uvologické hodnoty za druhý rok pokusu (září 2023)

2023 - druhý rok (výsadba na jaře)		Kober 5BB		Kober 125AA		Richter		SO4	
	10.08.2023	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
Chardonnay	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	25,7	22,3	29,2	26,3	28	24,3	20,7	26
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	214,7	185,3	220,3	184,3	220	205,5	167,7	205,2
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1	0,95	0,87	0,95	0,9	0,75	0,75	0,8
	Prům.délka internodia (cm)	11,6	11,75	9,28	10,63	9,89	9,63	9,75	11,13
	Cukernatost hroznů (Bx/NM°)	21,3/20,4	20,5/19,5	21,8/21	21,5/20,6	20,8/19,8	20,8/19,8	22,5/21,8	23,2/22,6
		Kober 5BB		Richter		SO4		Fercal	
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
Sauvignon	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	24,3	22,3	32,1	29,3	23,7	20,3	25,5	22
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	157,7	158	249	215,3	183,7	171,6	197,3	122,3
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1,25	1,05	1,3	1,06	1,35	1,15	1,15	0,77
	Prům.délka internodia (cm)	11,14	10	13,43	11,63	9,33	12,75	11,22	7,38
	Cukernatost hroznů (Bx/NM°)	20,6/19,6	16,7/15,1	21,8/21	22,5/21,8	22,8/22,1	17,3/15,8	21,3/20,4	19,7/18,6
		Kober 5BB		Kober 125AA		SO4			
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina		
Ryzlink rýnský	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	25,7	24,3	32,3	28,6	24,7	22,3		
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	239	216,3	236,3	208,4	211,6	191,7		
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,87	0,83	0,83	0,83	0,97	0,95		
	Prům.délka internodia (cm)	11,86	11,75	11,25	10,86	14,43	13,29		
	Cukernatost hroznů (Bx/NM°)	17,3/15,8	15,5/13,7	20,5/19,5	21,5/20,6	21/20,1	16,8/15,2		
		Kober 5BB		Fercal					
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina				
Rulandské modré	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	19,3	19	29,5	29,1				
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	197,3	180,7	242,3	293,5				
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	0,97	0,95	0,8	0,85				
	Prům.délka internodia (cm)	13,3	12,5	10,9	11,9				
	Cukernatost hroznů (Bx/NM°)	21,7/20,9	21,3/20,4	22/21,2	21,8/21				

U odrůdy Ryzlink rýnský vykazovala nejbujnější růst varianta s podnoží 5 BB (zejména v čistě rašelinném substrátu), naopak největší hrozny a bobule u 5 BB vykazovala varianta rašeliny se zeolitem. Nejvíce listů a tím pádem i nejvyšší cukernatost pak měla varianta s podnoží 125 AA (substrát se zeolitem); dosti hmotné hrozny a nejvyšší počet bobulí v nich vykazovala podnož SO4 (opět substrát se zeolitem). Opět varianty substrátu se zeolitem vykazovaly vyšší cukernatosti hroznů a vyšší hmotnost hroznů i bobulí. U odrůdy Rulandské modré stejně jako u odrůdy Chardonnay rostla nejbujněji varianta s podnoží Kober 5BB, zejména v substrátu se zeolitem (délka výhonu i počet listů) – shodně s prvním rokem po výsadbě; také hmotnost hroznu i bobulí a cukernatost byla vyšší než u podnože Fercal. I třetím roce lze opět pozorovat bujnější růst u všech variant (seříznutím výhonu a nárůstem kořenového systému). Nejbujněji rostly varianty s podnožemi 5 BB, 125 AA a Richter (v substrátu se zeolitem), stejně jako v minulém roce. A opět varianty substrátu se zeolitem měly vyšší počet listů a tím i vyšší cukernatost hroznů.

Z tabulky 5 je patrné, že hodnoty fluorescence (Fv/Fm) jsou u všech sledovaných rostlin nižší, než je udávaná hodnota 0,800. Toto může být způsobeno nejenom vodní deficitem, ale také vyšší teplotou prostředí, jak uvádí Palliotti et al. /27/ a Galat Giorgi et al. /28/. Neprůkazně nižší hodnoty fluorescence vykazují rostliny pěstované v rašelině v porovnání se zeolitem.

Tab. 4: Naměřené uvologické a analytické hodnoty za třetí rok pokusu (září 2024)

zrání ve skleníku: 18.7.; od června bez závlivky									
2024 - třetí rok (vyvinuté hrozny)		Kober 5BB		Kober 125AA		Richter		SO4	
	10.08.2024	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
Chardonn	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	41	38	35	31	37	32	40	38
	Prům. listová plocha listu (cm2)	284,81	288,75	247,5	276,33	199,75	257,25	267	271,5
	Celková prům. listová plocha na keři (m2)	1,17	1,1	0,87	0,86	0,74	0,82	1,06	1,03
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	372	306	295	256	218	211	256	264
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1,2	1	1,2	1,1	0,85	0,8	1	0,9
	Prům.délka internodia (cm)	13,25	11,1	12,66	14,3	10,66	12	9,5	11,75
	Prům. hmotnost hroznu (g)	131,76	136,33	124,22	114,01	96,43	87,25	153,55	159,94
	Prům. hmotnost bobule (g)	1,46	1,48	1,56	1,55	1,39	1,24	1,45	1,34
	Prům. hmotnost třapiny (g)	6,36	6,25	6,32	5,56	5,57	5,32	6,88	6,72
	Prům. počet bobulí v hroznu (ks)	113,33	115,67	99,67	76,67	79	67	105,67	126,33
	Cukernatost hroznů (°NM)	21	21,5	23	20,5	21,5	21	23	21
		Kober 5BB		Richter		SO4		Fercal	
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
Sauvignor	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	40	35	42	36	37	33	35	31
	Prům. listová plocha listu (cm2)	265,25	240,25	233,5	247,75	281	290,5	224,5	204
	Celková prům. listová plocha na keři (m2)	1,06	0,84	0,98	0,89	1,04	0,96	0,79	0,63
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	276	201	308	259	256	248	240	175
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1	0,85	1,3	1,1	1,1	1,1	1	0,9
	Prům.délka internodia (cm)	9	9,5	10,66	9,4	8,5	8,66	8	7,67
	Prům. hmotnost hroznu (g)	132,1	130,43	181,33	177,69	122,11	121,46	194,93	181,12
	Prům. hmotnost bobule (g)	1,95	1,81	1,9	1,83	1,86	1,8	1,66	1,32
	Prům. hmotnost třapiny (g)	6,37	5,89	7,5	7,21	6,07	5,83	12,49	11,55
	Prům. počet bobulí v hroznu (ks)	77,33	79,67	92	95,33	75,75	79,33	132,33	134,67
	Cukernatost hroznů (°NM)	23	21	21	20,5	25	24	21	19
		Kober 5BB		Kober 125AA		SO4			
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina		
Ryzlink rý	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	39	42	44	32	42	40		
	Prům. listová plocha listu (cm2)	310	290	320	320,5	357,25	336,5		
	Celková prům. listová plocha na keři (m2)	1,21	1,22	1,41	1,03	1,5	1,35		
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	344	351	308	259	305	262		
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1,1	1,2	1,2	1,1	1	1		
	Prům.délka internodia (cm)	13,35	13,33	12,53	12,33	9,66	9,25		
	Prům. hmotnost hroznu (g)	245,83	104,72	147,71	100,16	228,01	143,13		
	Prům. hmotnost bobule (g)	1,98	1,66	1,58	1,47	1,73	1,59		
	Prům. hmotnost třapiny (g)	12,99	7,32	9,03	6,53	10,86	9,92		
	Prům. počet bobulí v hroznu (ks)	119,33	93,25	107,67	106,5	127,66	111,33		
	Cukernatost hroznů (°NM)	19	18	20,5	19	19,5	19		
		Kober 5BB		Fercal					
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina				
Rulandské	Prům. počet plně vyvinutých listů (ks)	36	26	32	22				
	Prům. listová plocha listu (cm2)	284,25	284,83	232,25	252,5				
	Celková prům. listová plocha na keři (m2)	1,02	0,74	0,74	0,56				
	Prům. délka hlavního výhonu (cm)	295	228	221	180				
	Průměrná šířka výhonu u báze (cm)	1	0,9	0,85	1				
	Prům.délka internodia (cm)	9,67	10	8,5	9,33				
	Prům. hmotnost hroznu (g)	138,47	86,96	104,85	109,95				
	Prům. hmotnost bobule (g)	1,47	1,18	1,06	1,02				
	Prům. hmotnost třapiny (g)	9,31	5,84	7,26	7,45				
	Prům. počet bobulí v hroznu (ks)	132,25	98,5	105,33	121,67				
	Cukernatost hroznů (°NM)	27	27	22	19				

V rámci hodnocení vlivu podnože a substrátu je možné konstatovat, že nejvyšší hodnoty fluorescence vykazují rostliny na podnoži Kober 125 AA (0,599) a nejnižší u podnože SO4 (0,438). Dle výsledků Gambetta et al. /29/ je podnož SO4 tolerantní k suchu. Uvedený závěr nebyl potvrzen, což může být v důsledku použití rašelinového substrátu, který vlivem kyselejšího pH mohl omezit využití Mg rostlinami pro tvorbu chlorofylů a následně omezení transportu elektronů v rámci PSII. Obdobné hodnoty pro fluorescenci u stresované révy vinné

uvádí ve své práci Benyahia et al. /30/. V případě zeolitu byla průměrná fluorescence nejvyšší u podnože Fercal (0,624) a nejnižší u podnože Richter (0,588). Mezi odrůdami nebyly nalezeny průkazné rozdíly. Uvedené rozdíly tak nepotvrzují výsledky práce Martorell et al. /31/.

Z naměřených hodnot transpirace (E) je patrné, že nejvyšší transpiraci vykazuje odrůda Rulandské modré (2,52 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a naopak nejnižší Chardonnay (2,01 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Rozdíly mezi odrůdami potvrzují ve své práci např. Herrera et al. /32/. Rychlost transpirace se zvýšila u rostlin rostoucích v rašelině se zeolitem, což je dáno schopností zeolitu poutat vodu a tím snížit vodní deficit, jak dokládá práce Sedaghat et al. /33/. Snížení rychlosti transpirace u rostlin rostoucích v rašelině, které byly vystaveny vodnímu deficitu snížily rychlost transpirace v důsledku snížení otevřenosti průduchů. Uvedený závěr potvrzují práce Schultz a Benyahia et al. /30, 34/. Pokud se hodnotí vliv podnože, tak je možné uvést, že nejnižší transpiraci vykazuje podnož Fercal rostoucí v rašelině, je to dáno tím, že je to podnož snášejší spíše alkalické podloží (1,63 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a naopak nejvyšší je u podnože Richter (2,28 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). V případě podnoží rostoucích v zeolitu byla nejvyšší transpirace u podnože Kober 5 BB (2,59 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a nejnižší u podnože Kober 125 AA (2,14 mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Tab. 5: Změny fyziologických parametrů v závislosti na odrůdě, podnoži a substrátu

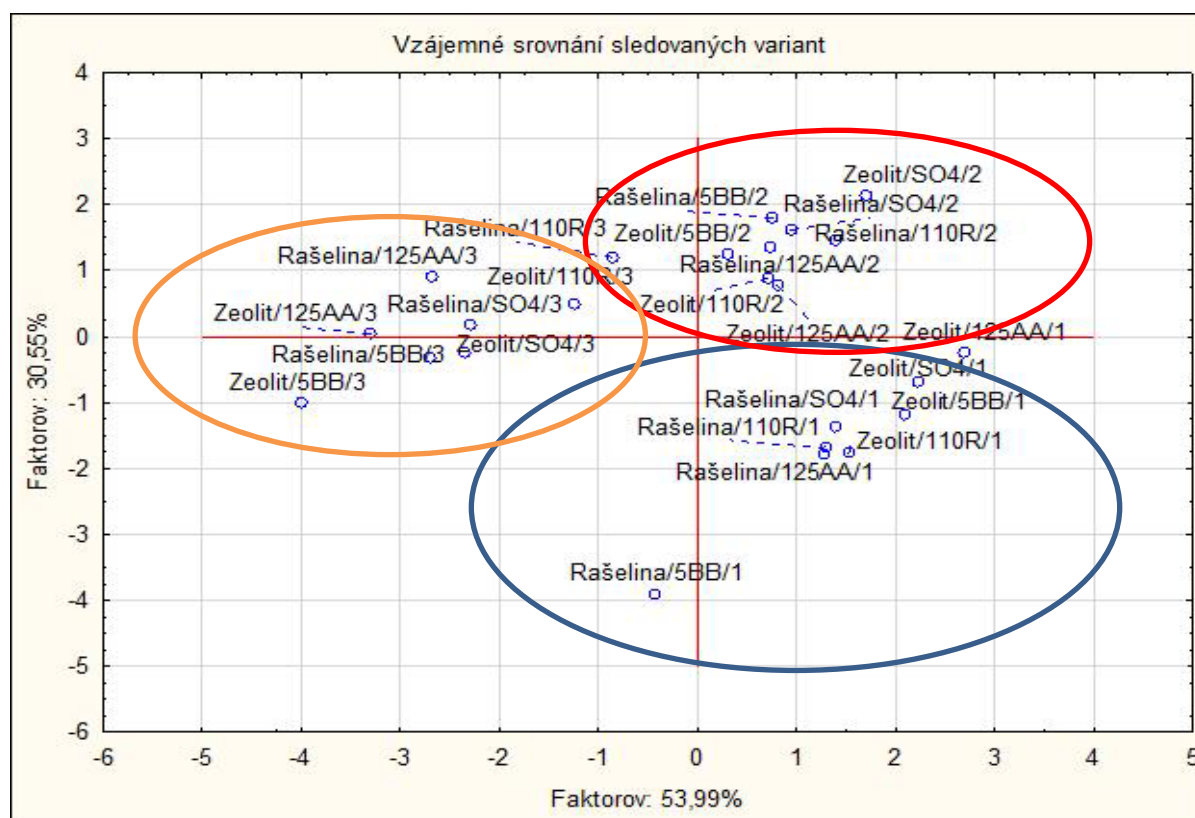
		KOBER 5 BB		KOBER 125 AA		RICHTER		SO4	
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
CHARDONNAY	FV/FM	0,589 ± 0,068	0,594 ± 0,054	0,568 ± 0,078	0,556 ± 0,063	0,672 ± 0,68	0,672 ± 0,068	0,472 ± 0,089	0,472 ± 0,089
	ci	302,02 ± 80,69	283,64 ± 120,23	279,02 ± 140,1	267,58 ± 136,65	260,90 ± 42,20	347,23 ± 158,75	352,16 ± 157,10	285,77 ± 45,12
	E	2,69 ± 0,41	1,54 ± 0,94	1,67 ± 0,49	1,55 ± 0,83	2,43 ± 0,96	2,38 ± 0,49	1,83 ± 0,60	2,02 ± 0,41
	gs	0,084 ± 0,028	0,039 ± 0,021	0,063 ± 0,027	0,071 ± 0,027	0,094 ± 0,031	0,063 ± 0,044	0,024 ± 0,012	0,153 ± 0,034
	A	5,55 ± 0,47	5,29 ± 0,30	5,85 ± 0,51	5,14 ± 0,70	6,52 ± 0,59	6,28 ± 0,64	5,83 ± 0,36	5,98 ± 0,46
		KOBER 5 BB		RICHTER		SO4		FERCAL	
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina
SAVIGNON BLANC	FV/FM	0,593 ± 0,053	0,665 ± 0,068	0,662 ± 0,060	0,655 ± 0,068	0,503 ± 0,104	0,459 ± 0,097	0,618 ± 0,042	0,608 ± 0,061
	ci	354,08 ± 139,90	444,70 ± 270,46	356,21 ± 139,3	364,91 ± 162,22	412,60 ± 158,41	303,39 ± 113,45	481,16 ± 207,97	241,93 ± 91,66
	E	1,81 ± 0,56	2,26 ± 0,58	2,39 ± 0,41	1,99 ± 0,72	2,20 ± 0,31	2,17 ± 0,40	2,50 ± 0,35	1,51 ± 0,41
	gs	0,090 ± 0,037	0,082 ± 0,065	0,023 ± 0,003	0,133 ± 0,060	0,102 ± 0,045	0,081 ± 0,031	0,049 ± 0,015	0,202 ± 0,068
	A	6,08 ± 0,27	6,13 ± 0,48	6,40 ± 0,48	6,30 ± 0,55	6,15 ± 0,32	5,95 ± 0,36	5,72 ± 0,61	5,61 ± 0,50
		KOBER 5 BB		KOBER 125 AA		SO4			
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina	zeolit	rašelina		
RYZLINK RÝNSKÝ	FV/FM	0,685 ± 0,090	0,665 ± 0,092	0,586 ± 0,053	0,586 ± 0,074	0,517 ± 0,104	0,404 ± 0,144		
	ci	565,05 ± 212,98	435,57 ± 226,41	380,34 ± 141,5	471,80 ± 237,13	351,17 ± 110,00	370,42 ± 129,74		
	E	1,90 ± 0,44	2,52 ± 0,43	2,37 ± 0,62	1,75 ± 0,63	2,56 ± 0,32	2,25 ± 0,30		
	gs	0,077 ± 0,022	0,062 ± 0,039	0,031 ± 0,020	0,63 ± 0,028	0,042 ± 0,024	0,063 ± 0,029		
	A	6,32 ± 0,34	5,94 ± 0,36	6,19 ± 0,70	5,93 ± 0,94	6,41 ± 0,47	6,18 ± 0,76		
		KOBER 5 BB		FERCAL					
		zeolit	rašelina	zeolit	rašelina				
RULANDSKÉ MODRÉ	FV/FM	0,621 ± 0,069	0,586 ± 0,075	0,629 ± 0,049	0,603 ± 0,048				
	ci	491,27 ± 217,43	343,48 ± 118,83	291,99 ± 82,79	468,02 ± 240,02				
	E	3,97 ± 0,58	2,10 ± 0,85	1,82 ± 0,33	2,17 ± 0,27				
	gs	0,117 ± 0,051	0,063 ± 0,021	0,044 ± 0,028	0,105 ± 0,065				
	A	6,08 ± 0,72	6,08 ± 0,50	6,13 ± 0,18	5,19 ± 0,40				

Legenda: Čistá rychlost fotosyntézy (A; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), substomatální koncentrace CO₂ (Ci; mol l^{-1}) a maximální kvantový výtěžek fotosystému II (Fv/Fm).

Vlivem vodního deficitu, který byl zaznamenán u rostlin rostoucích pouze v rašelině, viz tab. 5, dochází k průkaznému snížení fotosyntézy o 0,33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ v porovnání s rostlinami rostoucími v zeolitu (6,05 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Tento negativní vliv na rychlost fotosyntézy révy vinné uvádí také např. Greer et al. a Tombesi et al. /35, 36/. Dále z uvedené tabulky vyplývá průkazný genotypový rozdíl v rychlosti fotosyntézy, neboť nejnižší průměrnou fotosyntézu vykazuje odrůda Chardonnay (5,81 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejvyšší Ryzlink rýnský (6,16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Z hodnocení vlivu podnože na rychlost fotosyntézy je možné

konstatovat, že mezi podnožemi Kober 125 AA a Fercal pěstovaných v rašelině nebyly nalezeny průkazné difference, neboť průměrné hodnoty fotosyntézy byly $5,54 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $5,59 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Nejvyšší rychlost fotosyntézy byla zjištěna u podnože SO4 ($6,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). V souladu s prací Gambetta et al. /37/ je možné konstatovat, že uvedená podnož je vhodná do sušších podmínek. Omezení rychlosti fotosyntézy v důsledku snížené fluorescence u této podnože nebylo potvrzeno, neboť fotosyntéza je ovlivněna multifaktorově. Podobně nejvyšší hodnota fotosyntézy u této podnože byla stanovena u rostlin z varianty se zeolitem ($6,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Nejnižší průměrnou fotosyntézu sledovaných podnoží pěstovaných v rašelině se zeolitem měla podnož Kober 5 BB ($5,88 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Vliv podnože a odrůdy na fyziologické charakteristiky uvádí např. Aloni et al. (1982), Nikolaou et al. (2003) a Prinsi et al. (2021).

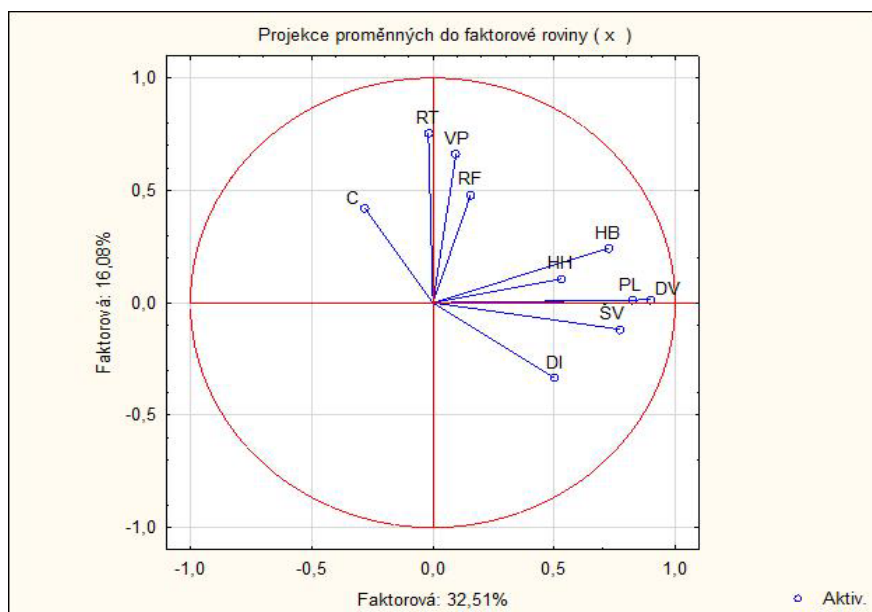
Následující grafy vyjadřují porovnání vícerozměrných dat sledovaných variant pomocí PCA metod. Z grafu 2 (odrůda Chardonnay) je patrný rozdíl zejména mezi ročníky (2022 - modrá, 2023 - červená a 2024 – zelená barva) a použitými substráty (zeolity spíše nahoře a více napravo, rašelina nalevo). Obdobně vypadaly i další odrůdy.



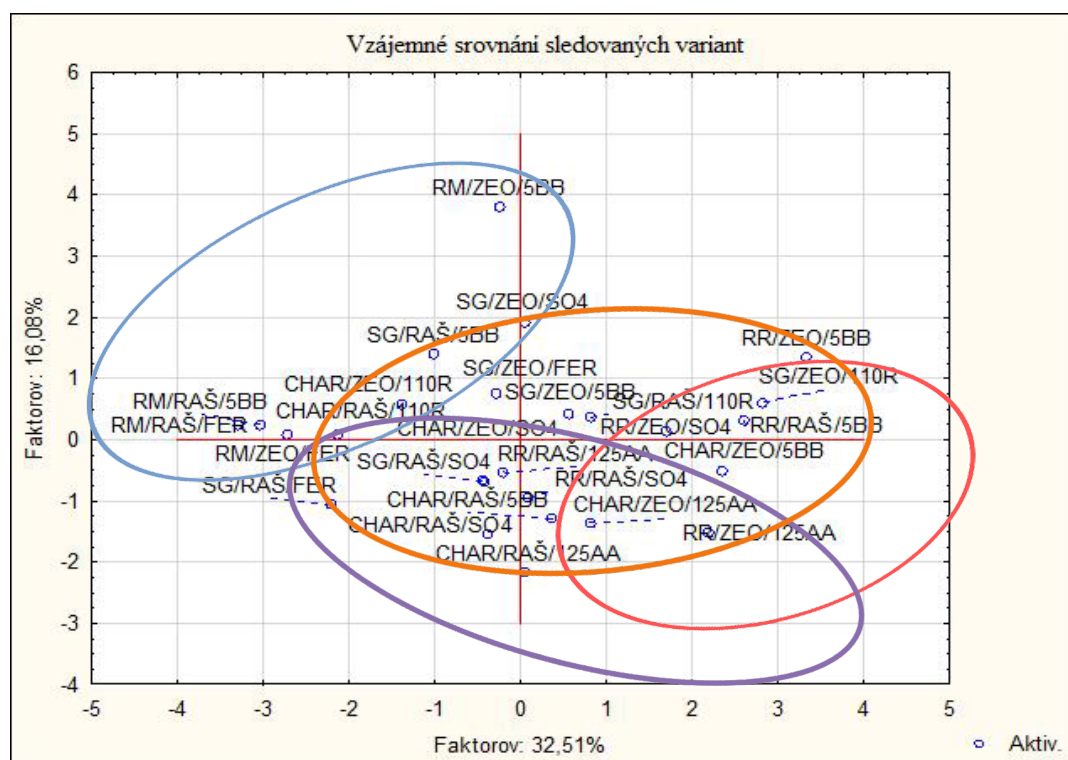
Graf 2: PCA- shluková analýza všech sledovaných komponent (substráty/podnože/roky) vzájemně mezi variantami u odrůdy Chardonnay během sledovaných 3 let. Legenda: substráty – rašelina a se zeolitem (rašelina/zeolit); jednotlivé podnože – 5BB, 125AA, 110R a SO4; jednotlivé roky – 1-2022, 2-2023 a 3-2024

Při vzájemném srovnání všech sledovaných komponent během sledovaných let (graf 3) vidíme užší vazby mezi fyziologickými veličinami jako rychlost fotosyntézy (RF), rychlost transpirace (RT) a vodivost průduchů (VP) a veličinami uvolňovacími jako HH a HB (hmotnost

hroznů a bobulí), DV, ŠV a PL (délky a šířky výhonů a počet listů na nich); více nezávisle pak stojí DI (délka internodií na výhonech) a C (cukernatost hroznů).

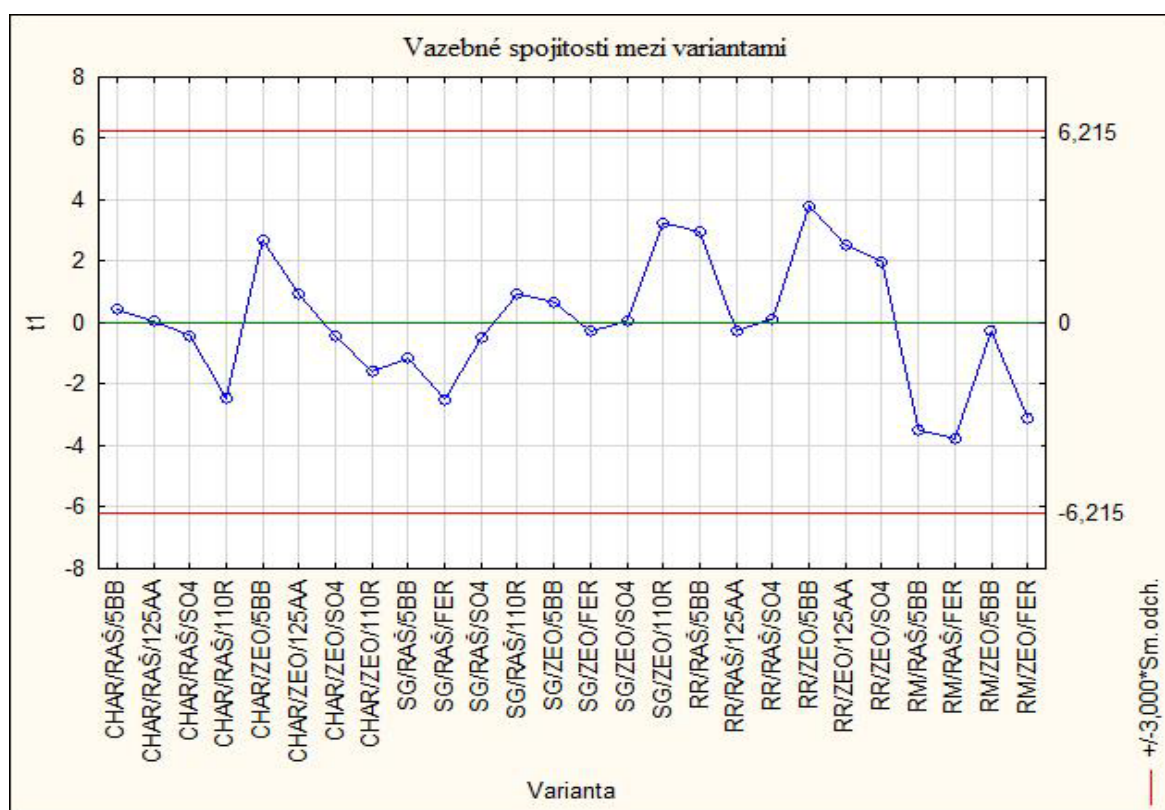


Graf 3: PCA analýza všech komponent vzájemně mezi sebou u všech variant během sledovaných let.



Graf 4: Vzájemné srovnání všech sledovaných variant a komponent v roce 2024. Legenda: odrůdy – CHAR (Chardonnay), SG (Sauvignon), RR (ryzlink rýnský) a RM (Rulandské modré); substráty – rašelinný (RAŠ) a se zeolitem (ZEO); jednotlivé podnože – 5BB, 125AA, 110R, SO4 a FERCAL

Z grafu 4 vidíme i odrůdové rozdíly, kde RM (modrá skupina nalevo) a RR (červená napravo) stojí více samostatně, tj. jsou mezi nimi průkaznější rozdíly; CHAR (žlutá uprostřed a dole) a SG (zelená uprostřed); dále jsou pozorovatelné i rozdíly v substrátech (zeolity většinou více napravo). Rozdíly mezi jednotlivými podnožemi ukazuje graf 5, kde zelená přímka značí normalitu a výkyvy mimo ni pak odchylky od normálu (abnormality u sledovaných komponent daných variant), tj. body pod čarou značí většinou slabší růst a nad čarou pak bujnější růst a hmotnější hrozny.



Graf 5: Regulační čárový graf vazebné spojitosti mezi sledovanými variantami pro rok 2024. Legenda: odrůdy – CHAR (Chardonnay), SG (Sauvignon), RR (ryzlink rýnský) a RM (Rulandské modré); substráty – rašelinný (RAŠ) a se zeolitem (ZEO); jednotlivé podnože – 5BB, 125AA, 110R, SO4 a FERCAL

ZÁVĚR

Substráty: Kombinace rašeliny se zeolitem měly u většiny variant vyšší cukernatost v bobulích hroznů, kratší internodia a více listů. Již jen díky vyšší cukernatosti hroznů se jeví použití zeolitu jako opodstatněné. I bujnost růstu (délka výhonů a jejich šířka u báze) byla obecně vyšší u variant se zeolitem (ale už ne tak průkazně). Dle předpokladů měly bujnější růst podnože Kober 5BB a 125AA, velmi dobře rostly odrůdy i na podnoží SO4 a slaběji pak na podnožích Fercal a Richter 110 (přičemž podnož Fercal je uváděna jako vhodná spíše do vápenitých půd). Obě podnožové odrůdy 5 BB i 125 AA vykazovaly bujný růst u obou testovaných substrátů (síla i délky výhonu i internodií), ale také větší a hmotnější bobule oproti ostatním podnožím. Nicméně rozdíly vzájemně mezi nimi jsou v rašelině minimální. Také slabý růst u SO4 se zatím nepotvrdil (podnož nemá ráda dlouhodobé sucho), naopak se zdá, že v prvních letech má růst bujnější, a podporuje vyšší výnosy a cukernatost hroznů.

Podnože: Nejbujněji a nejvitálněji se jevily podnože 5 BB, 110 R a 125 AA, tedy podnože do půd s kyselejším pH a spíše do sušších podmínek, tj. přesně do simulovaných podmínek tohoto pokusu. Nicméně i podnož Fercal, přestože je doporučována do vápenitých půd vykazovala u naštěpovaných odrůd na ní sice slabší, ale přesto dostatečný růst (oproti Koberům). V simulovaných podmínkách suchých kyselých půd se dle předpokladů dobře osvědčila i podnož Richter 110. Podnož SO4 vykazovala také velmi dobrý růst a zároveň nejvyšší cukernatost. Vyšší cukernatosti dosahovaly odrůdy na podnožích SO4 a Kober 125 AA.

Odrůdy: Během pokusu byly pozorovány slabší nástupy do vegetace na všech testovaných podnožích v daných podmínkách u odrůdy Sauvignon (u všech podnoží, zejména pak u podnože Richter 110). To však může být i výhodou v lokalitách s častým výskytem jarních mrazíků. Naopak nejčasnější rašení bylo pozorováno u odrůdy Chardonnay, zejména na podnožích 5BB a 125AA. Již zmíněný bujný růst na podnožích Kober vykazovaly zejména odrůdy Chardonnay a Ryzlink rýnský.

Fyziologické parametry: Ze získaných výsledků je patrné, že přidáním zeolitu do substrátu dochází k navýšení fyziologických parametrů, včetně transpirace. Pouze hodnota stomatální vodivosti byla nižší u rostlin se zeolitem, avšak u těchto rostlin byla také zaznamenána vyšší hodnota obsahu CO₂ v mezofylu, čímž se kompenzovala nižší otevřenost průduchů. Dále lze konstatovat, že nižších hodnot dosahovaly odrůdy pěstované na podnoži Fercal a naopak jako vhodné pro sušší oblasti a nižší pH se jeví podnože typu Kober a Richter.

Roky: Každým rokem od výsadby (2022) docházelo k intenzivnějšímu růstu ponechaného výhonu, v důsledku nárůstu kořenové hmoty. Nárůst nadzemní biomasy (réví s listy), vyjádřený průměrnou délkou hlavního letorostu/výhonu byl v roce 2024 oproti roku 2022 větší o 32,4 % u odrůdy Chardonnay; o 35,4 % u odrůdy Sauvignon, o 41,9 % u odrůdy Ryzlink a o 28,3 % u odrůdy Rulandské modré. Počet listů se zvýšil minimálně (u všech odrůd i variant, cca 6-10 %), ale došlo k zvětšení internodií (u CHAR až o 108 %, u SG 64,8 %, u RR o 77,3 % a u RM o 86 %).

Hlavní výstupy:

Kombinace rašeliny se zeolitem měly u všech variant vyšší cukernatost v bobulích hroznů. Podobné to bylo také u hmotnosti hroznů a bobulí. I bujnost růstu (délka výhonů a jejich šířka u báze) byla obecně vyšší u variant se zeolitem (ale už ne tak průkazně). Dle předpokladů měly bujnější růst podnože Kober 5BB a 125AA, velmi dobře rostly odrůdy i na podnoži SO4 a slaběji pak na podnožích Fercal a Richter 110 (přičemž podnož Fercal je uváděna jako vhodná spíše do vápenitých půd). Díky vyšší cukernatosti a hmotnosti hroznů (často i více listů) se jeví použití zeolitu jako opodstatněné.

Získané výsledky dohromady integrují současné znalosti o vývoji vodního stresu u vinné révy a také zdůrazňují relevanci specifických fyziologických indexů, které by mohly být efektivně využity pro správné zvládání deficitních strategií ve vinařství.

LITERATURA

- /1/ Ollat, N., Bordenave, L., Tandonnet, J.P. Bousiquot, J.M. a Marguerit, E.: Grapevine rootstocks: origins and perspectives. Acta Hort. 2016: 1136. doi: 10.17660/ActaHort.2016.1136.2
- /2/ Těthal, J., Sochor, J., Sotolář, R., Pavloušek, P., Baroň, M., Danko, R., Kaplan, M. a Klimek, K.: A study on effects of rootstocks on vine balance of 'Cerason' cultivar. Horticultural Science (Prague), 52, 2025: 202-214.

- /3/ Rýgl, T., Sotolář, R. a Hnilička, F.: Monitoring teplot hroznů při jejich dozrávání během horkého léta a podzimu roku 2024. *Vinař – sadař*, 5/2024: 2-7. ISSN 1804-3054.
- /4/ Rodrigo-Comino, J., Lucas-Borja, M. E., Bertalan, L. a Cerdà, A.: Integrating in situ measurements of an index of connectivity to assess soil erosion processes in vineyards. *Hydrological Sciences Journal*, 65(4), 2020: 671–679. doi.org/10.1080/02626667.2020.1711914.
- /5/ Campos B., Oliviera, M.B., Melo, M. a Sousa-Barros, F.: Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. *Microporous and Mesoporous Materials* 167, 2013:16–21. doi:10.1016/j.micromeso.2012.06.051.
- /6/ Sotolář, R. a Stehlík, M.: Porovnání vitality a výnosu keřů révy s využitím hydrokompostu (Peletsep®). *Zahradnictví*, 1/2025: 40–44. ISSN 1213-7596.
- /7/ Sotolář, R., Šuldes, J. Novik, A.: Porovnání vitality a výnosu keřů révy s využitím biostimulantů Albit, Altera a Alse. *Zahradnictví*, 6, 2025: v tisku.
- /8/ Bahador, M. a Tadayon, M.R.: Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial Crops and Products* 144, 2020: 112042. doi:10.1016/j.indcrop.2019.112042.
- /9/ Aslan, M.U. a Arsan, H.: The effect of zeolites on soil ant plant: A review. *Environment & Agriculture*, 55(14), 2024:2197-2216. doi.org/10.1080/00103624.2024.2346211.
- /10/ Choat, B., Brodribb, T. J., Brodersen, C. R., Duursma, R. A., López, R., & Medlyn, B. E. (2018). Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, 558(7711), 531-539.
- /11/ Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50.
- /12/ Haider, M. S., Zhang, C., Kurjogi, M. M., Pervaiz, T., Zheng, T., Zhang, C. & Fang, J. (2017). Insights into grapevine defense response against drought as revealed by biochemical, physiological and RNA-Seq analysis. *Scientific reports*, 7(1), 13134.
- /13/ Tan, J. W., Shinde, H., Tesfamichael, K., Hu, Y., Fruzangohar, M., Tricker, P., ... & Rodríguez López, C. M. (2023). Global transcriptome and gene co-expression network analyses reveal regulatory and non-additive effects of drought and heat stress in grapevine. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1096225.
- /14/ Hsiao, T. C., & Xu, L. K. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of experimental botany*, 51(350), 1595-1616.
- /15/ Patmi, Y. S., & Pitoyo, A. (2020). Effect of drought stress on morphological, anatomical, and physiological characteristics of Cempo Ireng cultivar mutant rice (*Oryza sativa* L.) strain 51 irradiated by gamma-ray. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1436, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- /16/ Monteoliva, M. I., Guzzo, M. C., & Posada, G. A. (2021). Breeding for drought tolerance by monitoring chlorophyll content. *Gene Technol*, 10(165), 10-35248.
- /17/ Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2021). The effect of drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat genotypes. *Advancements in Life Sciences*, 8(2), 119-123.
- /18/ Bigler, C., & Vitasse, Y. (2021). Premature leaf discoloration of European deciduous trees is caused by drought and heat in late spring and cold spells in early fall. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108492.
- /19/ Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- /20/ Plant Grape (INRA, IFV): Catalogue of grape vines cultivated in France. 2025. <https://www.plantgrape.fr/en/varieties/rootstock-varieties>.
- /21/ Galet, P.: Cépages et vignobles de France. Ed. Dehan, Montpellier, France. 1988.
- /22/ Smart, R.: Vine rootstocks in the *Oxford Companion to Wine* 4th edition ed. Jancis Robinson and Julia Harding MW, Oxford University Press, 2015, p.628.
- /23/ Kraus, V.: Korelace při tvarování révy ve vztahu k agrotechnickým opatřením. Závěrečná zpráva č. VI-4-3 (VI-1)/1980, VŠZ Brno.
- /24/ Sotolář, R.: Srovnání uvologických a analytických parametrů u různého typu vedení révy. *Vinař – sadař*, 1/2023: 30-33.
- /25/ Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., & Hniličková, H. (2010). The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny?. *Photosynthetica*, 48(4), 545-558.
- /26/ Kraus, V.: Vinohradnictví II.: Základní agrotechnika révy vinné. Skriptum VŠZ Brno. 1979.
- /27/ Palliotti, A.; Tombesi, S.; Frioni, T.; Silvestroni, O.; Lanari, V.; D'Onofrio, C.; Matarese, F.; Bellincontro, A.; Poni, S. Physiological Parameters and Protective Energy Dissipation Mechanisms Expressed in the Leaves of Two *Vitis vinifera* L. Genotypes under Multiple Summer Stresses. *J. Plant Physiol.* 2015, 185, 84–92.

- /28/ Galat Giorgi, E.; Sadras, V.O.; Keller, M.; Perez Peña, J. Interactive Effects of High Temperature and Water Deficit on Malbec Grapevines. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2019, 25, 345–356.
- /29/ Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 71(16), 4658-4676.
- /30/ Benyahia, F., Bastos Campos, F., Ben Abdelkader, A., Basile, B., Tagliavini, M., Andreotti, C., & Zanutelli, D. (2023). Assessing grapevine water status by integrating vine transpiration, leaf gas exchanges, chlorophyll fluorescence and sap flow measurements. *Agronomy*, 13(2), 464.
- /31/ Martorell, S., Díaz-Espejo, A., Tomás, M., Pou, A., El Aou-ouad, H., Escalona, J. M., ... & Medrano, H. (2015). Differences in water-use-efficiency between two *Vitis vinifera* cultivars (Grenache and Tempranillo) explained by the combined response of stomata to hydraulic and chemical signals during water stress. *Agricultural Water Management*, 156, 1-9.
- /32/ Herrera JC, Hochberg U, Degu A, Sabbatini P, Lazarovitch N, Castellarin SD, Fait A, Alberti G, Peterlunger E. 2017. Grape metabolic response to postveraison water deficit is affected by interseason weather variability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65, 5868–5878.
- /33/ Sedaghat, M., Hazrati, S., & Omrani, M. (2022). Use of zeolite and salicylic acid as an adaptation strategy against drought in wheat plants. *South African Journal of Botany*, 146, 111-117.
- /34/ Schultz, H.R. Differences in Hydraulic Architecture Account for Near- Isohydric and Anisohydric Behaviour of Two Field-Grown *Vitis vinifera* L. Cultivars during Drought. *Plant Cell Environ.* 2003, 23, 1393–1405.
- /35/ Greer, D.H.; Weedon, M.M. Modelling Photosynthetic Responses to Temperature of Grapevine (*Vitis vinifera* Cv. Semillon) Leaves on Vines Grown in a Hot Climate. *Plant Cell Environ.* 2012, 35, 1050–1064.
- /36/ Tombesi, S.; Frioni, T.; Poni, S.; Palliotti, A. Effect of Water Stress “Memory” on Plant Behavior during Subsequent Drought Stress. *Environ. Exp. Bot.* 2018, 150, 106–114.
- /37/ Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 71(16), 4658-4676.
- /38/ Aloni R., Role of cytokinin in differentiation of secondary xylem fibers, *Plant Physiology*. (1982) 70, no. 6, 1631–1633.
- /39/ Nikolaou N., Koukourikou M., Angelopoulos K., and Karagiannidis N., Cytokinin content and water relations of “Cabernet Sauvignon” grapevine exposed to drought stress, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. (2003) 78, no. 1, 113–118.
- /40/ Prinsi B., Simeoni F., Galbiati M., Meggio F., Tonelli C., Scienza A., and Espen L., Grapevine rootstocks differently affect physiological and molecular responses of the scion under water deficit condition, *Agronomy*. (2021) 11, no. 2, 289.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV – Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

VLIV RŮZNÝCH PODNOŽÍ A ZÁVLAHY NA STRES, VITALITU A VÝNOS U SLEDOVANÝCH ODRŮD RÉVY

THE INFLUENCE OF DIFFERENT ROOTSTOCKS AND IRRIGATION ON STRESS, VITALITY AND YIELD IN THE STUDIED GRAPEVINE VARIETIES

Radek Sotolář¹, Tomáš Rýgl², Lubomír Lampíř², Oldřiška Sotolářová¹, Jaroslav Šuldes¹,
František Hnilička²

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav vinohradnictví a vinařství,
Valtická 337, 691 44 Lednice, radek.sotolar@mendelu.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin,
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát, rygl@af.czu.cz

Summary

The study was focused on evaluating the effect of four rootstocks (5BB, 110R, SO4 and Fercal) on 3 monitored grape varieties (Chardonnay, Pinot noir and Sauvignon) under different irrigation systems (classical drip, subsurface drip and control) by monitoring photosynthesis, uvological and yield parameters. The aim was to verify the increase in plant resistance (strengthening immunity and stimulating growth even in stressful conditions) by means of yield parameters and vitality (expressed by the Ravaz index - RI). All irrigated variants achieved higher RI and yield values than the control variant. The Kober 5BB rootstock for the Chardonnay and Sauvignon varieties, and the Fercal rootstock for the Pinot Noir variety, proved to be effective for the given location.

Key words: Ravaz index (RI – balance of growth and fertility), rootstock, stress, yield, vitality, fluorescence, net photosynthetic rate (A), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E), irrigation system

Souhrn

Studie byla zaměřena na hodnocení vlivu čtyř podnoží (5BB, 110R, SO4 a Fercal) u 3 sledovaných odrůd révy (Chardonnay, Pinot noir a Sauvignon) při různém systému závlah (klasická kapková, podpovrchová kapková a kontrola) pomocí sledování fotosyntézy (fluorescence a výměny plynů), uvologických a výnosových parametrů. Cílem bylo ověřit zvýšení odolnosti rostlin (posílení imunity a stimulace růstu i ve stresových podmínkách) pomocí výnosových parametrů a vitality (vyjádřenou Ravazovým indexem - RI). Všechny zavlažované varianty dosáhly vyšší hodnoty RI i výnosu než varianta kontrolní. Pro danou lokalitu se osvědčila podnož Kober 5BB pro odrůdu Chardonnay a Sauvignon, a podnož Fercal pro odrůdu Rulandské modré.

Klíčová slova: Ravazův index (RI), podnože, stres, výnos, vitalita, fluorescence, asimilační rychlost, vodivost průduchů, rychlost transpirace, závlaha

ÚVOD

Réva vinná je jednou z ekonomicky nejvýznamnějších ovocných plodin na světě /1/. V důsledku globální změny klimatu je réva vystavena častým suchům, takže výběr vhodných genotypů (odrůd podnožových ale i moštových i stolních) odolnějších vůči suchu je důležitou strategií pro jejich pěstování v tradičních vinařských oblastech /2, 3/. Významným faktorem ovlivňujícím výnos je i stres vyvolaný suchem. Podle Yanga a kol. /4/ může sucho inhibovat dýchání rostlin, fotosyntézu a otevírání průduchů, čímž ovlivňuje růst a metabolismus rostlin. Kořeny a listy jsou dva nejdůležitější rostlinné orgány pro regulaci stresu ze sucha. Nejenže spolupracují, ale hrají také různé role. Vzhledem ke složitosti biologických procesů mezi nadzemními a podzemními tkáněmi je nezbytné porozumět společným a specifickým profilům genové exprese a metabolitům spojeným se stresem v rezistenci révy vinné vůči suchu /5, 6/.

Mezi vizuální příznaky nedostatku vody během vegetačního období patří vadnutí listů a jejich opad, tj. změny v počtu listů na plochu /7/. Důvodem poklesu obsahu chlorofylu v listech může být degradace chlorofylu přímo způsobená suchem, což má za následek změnu barvy listů – žloutnutí či hnědnutí /8/. Listy rostlin rostoucích v podmínkách sucha mají menší listovou plochu, větší tloušťku a vyšší hustotu listů /9, 10/, což je podle Djanaguiraman a kol. /11/ způsobeno snížením turgoru. Snížení turgoru následně snižuje rychlost fotosyntézy, tvorbu a dostupnost asimilátů /12, 13, 14/. Deficit vody přímo snižuje fotosyntézu snížením dostupnosti CO₂, což vede ke snížené difúzi průduchů a mezofylu /15/. Snížená rychlost fotosyntézy u stresovaných rostlin je také způsobena snížením fotosyntetických pigmentů /16/. Kromě toho jsou pozorovány i změny ve fotochemických a biochemických procesech, jako je snížená rychlost přenosu elektronů /17/ a fotofosforylace /18/. Další důležitou reakcí rostlin na nedostatek vody je změna osmotického potenciálu listů, kdy je akumulace rozpuštěných látek v buňkách, jako jsou cukry nebo aminokyseliny (např. prolin), energeticky náročná. Podle Sorek et al. /19/ tyto změny pomáhají udržovat turgor, snižují hydraulickou dysfunkci a uzavírání průduchů. Osmotický potenciál listů je obvykle negativnější u rostlinných druhů, které jsou přizpůsobeny teplejšímu a suššímu klimatu, čímž dosahují vyšších výnosů v podmínkách sucha /20, 21/. Kromě toho slouží také jako osmoprotektanty, které zvyšují toleranci k suchu stabilizací proteinových a membránových struktur, čímž snižují poškození dehydratací /22/. Nedostatek vody způsobuje nadprodukcí reaktivních forem kyslíku (ROS) a následně oxidační stres /23/. Reaktivní formy kyslíku (ROS) mohou sloužit jako prospěšná signální molekula pro vnímání stresu a vysílání různých signálů, zatímco nadměrné množství ROS může způsobit poškození buněk /24/. Rostliny však aktivují enzymatické a neenzymatické antioxidační obranné mechanismy v reakci na zvýšení ROS /25/. Změny hladin endogenních hormonů, jako je kyselina abscisová (ABA), kyselina indolactová (IAA) a giberelin (GA), hrály klíčovou roli v reakci na nedostatek vody, když jsou rostliny vystaveny stresu ze sucha /26/.

Existuje korelace mezi růstem kořenů a listů v korelaci různých rostlinných orgánů, přičemž Hsiao a Xu /27/ naznačují, že růst kořenů je za podmínek sucha příznivější než růst listů. Blum /21/ uvádí, že existují dva rysy vztahu mezi listy a vodou. Jsou to osmotický potenciál při plné hydrataci a osmotická adaptace. Oba tyto rysy snižují míru poškození listů dehydratací /28/. Dehydratace je podle Scoffoniho a kol. /29/ způsobena ztrátou buněčného turgoru, protože turgor podporuje buněčné stěny a řídí buněčnou expanzi. Dehydratace je podle způsobena ztrátou buněčného turgoru, protože turgor podporuje buněčné stěny a řídí buněčnou expanzi /30/. Ztráta turgoru zhoršuje růst a způsobuje kolaps a deformaci buněčných stěn, což

brání transportu vody a CO₂ a způsobuje vadnutí listů /29/. Schopnost udržet si turgor během dehydratace je způsobena především osmotickým potenciálem při plné hydrataci /31/.

Réva vinná se osmoticky adaptuje během vegetačního období nebo během sucha /19/. Odrůdy révy vinné pěstované v teplejších a sušších oblastech obvykle vykazují ekonomičtější chování průduchů, včetně nižší maximální vodivosti průduchů /32/. Práce Ju et al. /33/ ukazuje, že rostliny révy vinné snižují fotosyntézu a zvyšují hladiny prolinu v reakci na vodní stres, stejně jako expresi genů souvisejících se syntézou chlorofylu a systémem ROS /5/.

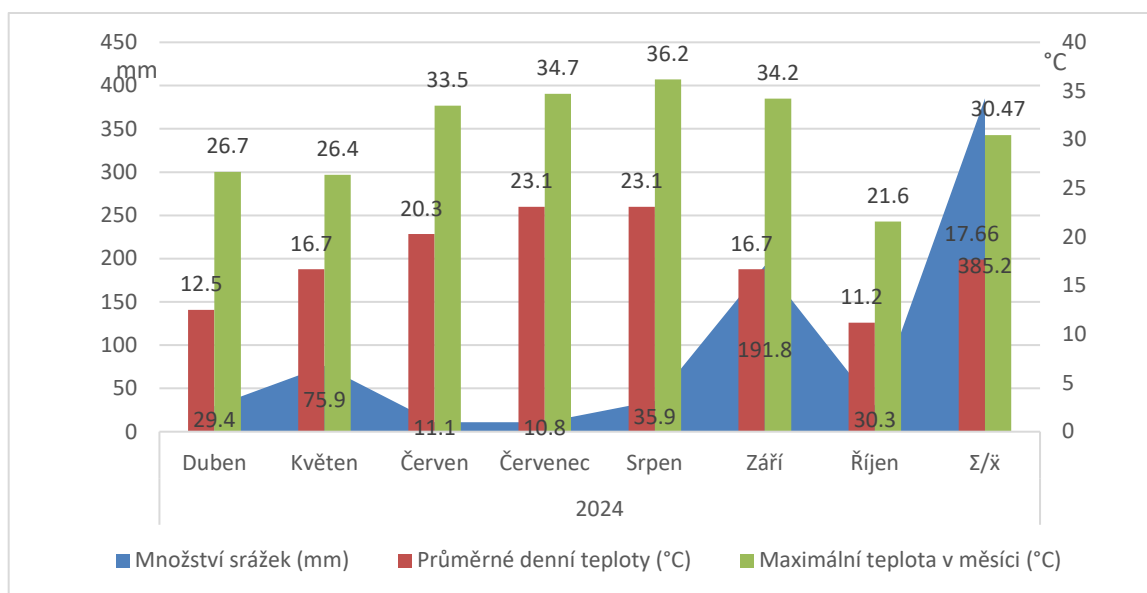
Sucho vede zejména ke snížení výnosů plodin a efektivním opatřením u trvalých kultur je kapková závlaha v měsících bez srážek. Velkým problémem v současnosti je ale vedení závlahových hadic po vodícím drátu konstrukce vinice (cca 60-80 cm nad zemí), kde kapající voda vytváří škraloup a erozi, navíc se nemalá část vody vypaří. Hadice umístěné na povrchu v příkmenném pásu nejsou vzhledem k obdělávající mechanizaci (výkyvné sekce) vhodné, a proto se začíná více testovat závlaha podpovrchová /34/.

Vzhledem ke genetické rozmanitosti zdrojů révy vinné však často existují významné rozdíly v toleranci sucha mezi různými odrůdami. Obecně více tepla preferují pozdní odrůdy, zejména pro výrobu červených vín. Významnou roli však má i správné použití podnožové odrůdy pro dané stanoviště /35/. I proto se několik studií v poslední době věnuje tzv. vitalitě rostlin (vine balance – vztah mezi růstem a plodností), vyjádřenou Ravazovým indexem /36, 37, 38, 39/, na které tato studie navazuje.

MATERIÁL A METODY

Popis lokality a pokusné vinice

Pokus proběhl na experimentální vinici MENDELU v Lednici (trať Na Valtické: 48.788380, 16.796148), na několika odrůdách v roce 2024. Průměrná roční teplota v této lokalitě je 9 °C a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 516,6 mm. Meteorologická data jsou získána z Meteo stanice Mendelea, průměrné teploty a úhrn srážek za vegetační období ukazuje graf 1. Z grafu je patrné poměrně slušné srážkové období na jaře (modrá barva), zejména v měsíci červnu, kdy spadlo 112 mm; a naopak srážkově velmi chudé letní měsíce červenec a srpen + začátek měsíce září (v součtu jen 46,7 mm), kdy se často netvořila ani rosa po ránu. Celkově za vegetační období spadlo jen 385,2 mm srážek, což je pro danou lokalitu v posledních letech průměrná hodnota a ukazuje to na velmi suchou lokalitu. Půda je hlinitopísčité s podílem 20–24 % jílovitých částic. Analýza půdy (v hloubce 30 cm) ukázala následující parametry: pH 7,5; N_{min} 18,2 mg · kg⁻¹; P 51,7 mg · kg⁻¹; K 266,8 mg · kg⁻¹; Ca 6687 mg · kg⁻¹ (duben 2021). Obsah vápníku je vskutku vysoký (vápenité podloží), což spolu s horkým a suchým létem vyvolává a zvyšuje stresové prostředí na révové keře. Výsadba byla uskutečněna v roce 2021 ve sponu 2,20 m × 0,9 m. Vedení je standardní rýnsko-hesenské s horizontálně vyvázanými tažni (jeden kmínek/jedna tažeň). Pokusné řádky jsou obhospodařovány v rámci ekologického režimu (IP).



Graf 1: Průměrné + maximální teploty a úhrn srážek za vegetační období (2024) lokality v Lednici

Design pokusu, systémy závlah a použité podnože

Varianta A – podpovrchová kapková závlaha: řádky vinice byly dlouhé 300 m; kapkovače byly rozmístěny po 1 metru, tj. na jeden řádek tedy připadá 300 kapkovačů s dávkováním 2,3 l/h. To znamená, že bylo spotřebováno 690 litrů na řádek za hodinu. Kapkovače použité pro pokus byly s tlakovou kompenzací, což znamená že tlak na začátku a na konci se lišil maximálně o 5 % /40/. Kapková hadice byla zakopána 45 cm pod povrch příkmenného pásu, do cca 25 cm šterkového lože. Výhoda spočívá v tom, že dodává pravidelně malá množství vody a živin přímo do části kořenové zóny pěstovaných plodin. Hlavním předpokladem jejího úspěšného fungování je soustředit nejprve do navlaženého objemu rozhodující část vlásečnicových kořínků, přijímajících vodu. Pak máme možnost vytvářet rostlinám optimální zásobení vodou a živinami podle jejich momentální potřeby v závislosti na růstové fázi, velikosti násady plodů a dalších faktorech. Vzhledem k nutnosti překonávat velká převýšení a zaručit dlouhodobou bezproblémovou funkci jsou pro závlahu vinic nejvhodnější vícesezónní kapkovač hadice s tlakovou kompenzací. Díky vnitřní regulační membráně mají hadice samočistící schopnost a jsou odolné proti běžně používaným agrochemikáliím a zředěným kyselinám /40/. Závlaha byla zapnuta od 11. 7. do 31. 7. 2022. Voda zde byla dávkována 3 dny v týdnu (pondělí, středa, sobota).

Varianta B - povrchová kapková závlaha: vše bylo shodné jen s tím rozdílem, že kapková hadice byly umístěné na spodním drátu opěrné konstrukce, tj. 70 cm nad zemí. Kapková závlaha byla zapnuta shodně od 11. 7. do 31. 7. 2022. Voda zde byla dávkována 3 dny v týdnu (pondělí, středa, sobota). V tyto dny byla používána od 22:00 do 6:00 hodin kvůli riziku výparu, což znamená 8 hodin za jeden den. Jelikož byla závlaha zapnutá tři dny v týdnu, zavlažovalo se 9 dní po osmi hodinách, což je 72 hodin zavlažování celkem. Při jedné hodině bylo použito na jeden řádek 690 litrů vody. V konečném počtu na 72 hodin zavlažování bylo použito 49 680 litrů vody.

Varianta C – kontrola bez závlahy.

Kober 5 BB (5 BB): Tato podnožová odrůda je výsledkem křížení mezi druhy *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* (Sigmund Teleki a Franz Kober, 1896). 5BB je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry i k hádátkům rodu *Meloidogyne*. Na druhou stranu je citlivější na *Agrobacterium vitis*. Novější selekce těchto podnoží odolávají až 35 % „celkového“ vápníku v půdě (CaO, CaCO₃) a zhruba 20 % „aktivního“ vápníku (Ca²⁺). Odolnost vůči chloróze vyvolanou nedostatkem či nadbytkem železa je střední až dobrá. 5BB je také dobře přizpůsobena vlhkým podmínkám a zejména písčítým půdám (má hlubší kořenový systém). Rychlost růstu a produkce hmoty je za optimálních půdních podmínek velmi vysoká (až na úkor plodnosti), proto se tato podnož spíše využívá do chudších sušších písčitých či kamenitých půd, které brzdí její růst /41/.

Selection Oppenheim 4 (SO4): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* a *Vitis riparia* Sigmundem Telekim a Heinrichem Fuhrem, v roce 1896. SO4 je vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry. Velmi dobrá je i odolnost vůči hádátkům. Odolnost vůči vápenitým půdám je dobrá, vyhovují jí však kyselé půdy a je poměrně tolerantní k chloridům. Odolnost SO4 vůči suchu je střední až nízká. Rychlost a bujnost růstu rostlin naroubovaných na SO4 je velmi vysoká, zejména v první části života révy (prvních 15 let). Odrůdy naroubované na SO4 produkují vysoké výnosy, počínaje prvními roky po výsadbě, což někdy vyžaduje probírky hroznů /42/.

Fercal: Na základě genetických analýz provedených v Montpellier je tato odrůda výsledkem křížení Berlandieri-Colombard 1 B (z křížení mezi *Vitis berlandieri* a *Vitis vinifera* cv. Ugni blanc) a 31 Richter (z křížení mezi *Vitis berlandieri* cv. Ressenaguier 2 a *Vitis longii* cv. Novomexicana; INRA, 1959). Fercal je velmi vysoce tolerantní ke kořenové formě fyloxéry. Hlavní vlastností je dobrá afinita a velmi vysoká odolnost vůči chloróze a přizpůsobení se vápenitým půdám. Podnož snáší poměrně dobře vlhké jarní podmínky, ale její odolnost vůči suchu je jen střední. Rychlost růstu a nasazování plodů je dobrá. Bujnost růstu je zpočátku střední až vysoká /41/.

Richter 110 (110 R): Tato odrůda je výsledkem křížení *Vitis berlandieri* cv. Ressenaguier n°2 a *Vitis rupestris* cv. Martin od Franze Richtera, 1902. Je dobře přizpůsobena suchu (vytváří hluboký kořenový systém) a proto se využívá na chudší kamenité kyselé půdy. Je citlivější na přebytek vody v půdě a vápenité půdy obecně. 110 R má vysokou toleranci k révokazu a nízkou toleranci k hádátkům. Podporuje plodnost, ale na druhou stranu zpomaluje růstový cyklus a dozrávání, zejména v úrodných půdách /43/.

Tabulka 1: Schéma pokusu

Varianty	Odrůda/Dávka	Podnože	Počet keřů
Varianta A – Podpovrchová kapková	Chardonnay/2,3 l/h	5 BB, 110 R	25 ks + 25 ks
	Pinot noir/2,3 l/hod.	5 BB, Fercal	25 ks + 25 ks
	Sauvignon/2,3 l/h	5 BB, 110R, Fe, SO4	25 + 25 + 25 + 25 ks
Varianta B – Klasická kapková	Chardonnay/2,3 l/h	5 BB, 110 R	25 ks + 25 ks
	Pinot noir/2,3 l/hod.	5 BB, Fercal	25 ks + 25 ks
	Sauvignon/2,3 l/h	5 BB, 110R, Fe, SO4	25 + 25 + 25 + 25 ks
Varianta C – kontrola	Chardonnay/ 0 litrů	5 BB, 110 R	25 ks + 25 ks
	Pinot noir/ 0 litrů	5 BB, Fercal	25 ks + 25 ks
	Sauvignon/ 0 litrů	5 BB, 110R, Fe, SO4	25 + 25 + 25 + 25 ks

Použité metodiky pro stanovení vitality, plodnosti rostlin a výnosů

Rovnováhu mezi plodností a růstem keře v daném roce zjišťujeme pomocí tzv. Ravazova indexu (jedná se o koeficient využitelnosti réví). Tento index představuje obecně poměr reprodukčního oproti vegetativnímu růstu. Vychází z optimálního poměru mezi výnosem, růstem keře a kvalitou hroznů /37, 44/. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr hmotnosti hroznů ku ořezanému réví z jednoho keře (plodnost / řez). *Hmotnost ořezaného réví* představuje informaci nejen o intenzitě růstu keře a tím i jeho vitalitě (pokud je prováděn každoročně konstantně), ale také o kvalitě prováděných zelených prací, architektuře révového keře, výživě a ošetřování půdy ve vinici. *Hmotnost hroznů* sklizených z jednoho keře naopak představuje informaci o plodnosti odrůdy za daných podmínek, která bývá ovlivněna klonem odrůdy, použitou podnoží, výživou keře, teplotami a srážkami během vegetace. Obě tyto informace jsou tedy velmi důležité pro zjištění tzv. „vine balance“, tj. je-li plodnost keře v rovnováze s růstem, což lze vyjádřit právě Ravazovým indexem. Keller /45/ jej nazývá jako zatížení keře sklizní a specifikuje jej jako poměr velikosti sklizně k velikosti révového keře (stanovené jako hmotnost ořezaného réví či velikost listové plochy) a je měřítkem vztahu mezi příjmem a výdajem. Kraus /46/ jej nazývá koeficientem využitelnosti réví. V každém případě je vyjádřený poměr mezi plodností a řezem počáteční ukazatel bilance rovnováhy mezi růstem a plodností mající vliv na vitalitu révového keře, který byl prvně propagován francouzským profesorem vinařství Louistem Ravazem (1863-1937) na počátku 20. století (1903). Optimální hodnoty Ravazova indexu jsou 5-7, a tyto hodnoty představují optimální růst a plodnost révového keře. Vliv na optimální hodnoty indexu má však také tloušťka réví, častější eliminace zálistků a osečkování nebo sama velikost hroznů. Také PIWI odrůdy, tj. více plodné a bujněji rostoucí odrůdy mívají hodnoty obecně vyšší. Za přijatelné je tedy možno považovat i hodnoty 3-10. Hodnoty Ravazova indexu na spodní hranici naznačují keře s nízkou násadou hroznů nebo keře velmi bujně rostoucí, mající velkou listovou plochu v porovnání k výnosu. V tomto případě je vhodné zvýšit zatížení plodností nebo provést zásahy oslabující růst keřů. Hodnoty na horní hranici indexu naznačují vysokou násadu hroznů anebo slabý růst keře. V tomto případě je vhodné naopak snížit zatížení nebo provádět zásahy vedoucí k podpoře růstu keře – zvýšit listovou plochu. Pozor u mladých keřů v kondici (mají bujnější růst a silnější réví) a obecně u PIWI odrůd (bujnější růst i vyšší plodnost) jsou hodnoty spíše hraniční, tj. akceptovatelné (ještě přijatelné) běžným jevem /35, 47, 48/. Ravazův index vhodně doplňuje i tzv. index bujnosti růstu, který vyjadřuje, jak který keř v daném roce rostl. Hodnotí se podle šířky výhonů dole u báze, co nejbližže tažni (nejlépe na podzim po opadu listů). Za normálních okolností (volný růst) je ukazatelem bujnosti růstu délka narostlého réví (hlavního výhonu) za vegetaci, nicméně díky modelaci keře pomocí zelených prací a řezu (zejména osečkování, tj. zkrácení hlavní osy), musíme tento parametr nahradit průměrnou šířkou výhonů (jejich tloušťkou). Bujnost růstu je odvislá od vícero faktorů, především však od volby odrůdy a podnože, vedení a zelených prací (počet letorostů a hroznů na keři) a také od výživy keře a počasí v daném ročníku (zejména průměrné teploty a množství srážek). Mezi silněji rostoucí odrůdy můžeme zařadit PIWI odrůdy (Monarch, Solaris, aj.) nebo standardní odrůdy jako Carmenere, Dornfelder, atd.; slaběji roste například odrůda Cabernet Franc. Obecně také bujněji rostou mladé keře s minimem hroznů, slaběji naopak keře starší s větší násadou plodů /46, 48/. Dalším zajímavým ukazatelem je tzv. index (koeficient) plodnosti, který představuje vyjádření plodného (výnosového) potenciálu révového keře v daném roce. Konkrétně tedy vyjadřuje poměr všech (nejen sklizených) hroznů

ku počtu plodných letorostů na keři (počet hroznů / počet letorostů). *Počet letorostů na keři* představuje především asimilační plochu keře a odráží tak informace o agrotechnice (největší vliv má samotné vedení), vitalitě růstu (zahrnuje půdní podmínky, výživu, volbu podnože i klonu, atd.) a prováděných zelených pracích. *Počet hroznů na keři* je ukazatelem zejména odrůdovým (včetně klonů a volby podnoží), ale je také ovlivňován samotným stanovištěm (oslunění keře má vliv na tvorbu květenství v následujícím roce) /46/. Index plodnosti ovšem úplně nesouvisí s výnosem, neboť čím více je hroznů na keři, tím jsou menší (méně hmotné) a celkově tak může být sice více hroznů na keři, tedy velmi vysoký koeficient, ale s hmotností jen kolem 2 kg na keř, čili střední výnos (cca 10 tun/ha). Proto se nejčastěji vyjadřuje čistá plodnost keře množstvím skutečně sklizených hroznů z plochy, čili výnos (je vyjádřen v t/ha). Předpokládaný výnos spočteme jako součin počtu keřů na ploše x hmotnost sklizených hroznů na keři. Výnos tak dosti ovlivňuje množství keřů na hektaru, tedy spon /39/.

Stupnice Ravazova indexu (či také Koeficient využitelnosti réví): Vysoký = 10,1 a vyšší; akceptovatelný = 8 – 10; **optimální** = 5 – 7; akceptovatelný = 3 – 4,9; nízký = 2,9 a méně /45, 46, 48/.

Stupnice Indexu bujnosti růstu: <0,4 slabší růst; 0,5 – 1 **optimální růst**; >1 silný růst /47, 48/.

Stupnice Indexu plodnosti: Velmi vysoký = 1,7 – 2,2 (až přes 2 hrozny na letorost); **vysoký** = 1,1 – 1,6; **střední** = 0,6 – 1; **nízký** = 0,5 a nižší /46, 47/.

Stupnice výnosu: Velmi vysoký = více než 15; **vysoký** = 11 – 15; **střední** = 5 – 10; **nízký** = méně než 5 /35, 47/.

Použité přístrojové vybavení pro analytická a uvologická měření

Pro analytická data byla využita vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC Shimadzu), kde byl standardním způsobem stanoven obsah zkvasitelných monosacharidů v moštu (glukoza + fruktóza) a konkrétní obsah jednotlivých hlavních kyselin vinného moštu (tj. kyselina vinná, jablečná a citronová) /50/. Celkový obsah kyselin v moštu byl stanoven klasicky titračně. Pro určení cukernatosti moštu byl použit ruční refraktometr Atago (°Brix) a následně i moštoměr (°NM). pH moštu bylo stanoveno opět klasicky pomocí pHmetru WTW. Asimilovatelný dusík v moštu byl stanoven pomocí přístroje Miura One. Pro uvologická data byly při stanovení hmotnosti využity závěsné digitální váhy a laboratorní digitální váhy značky Kern. Analytická data byla získána dne 30.9.2024, uvologická a výnosová ve dnech 25.9.2024 a 15.11.2024 a vyhodnocena ve dne 22.11.2024.

Měření fyziologických charakteristik

Parametry výměny plynů

Výměna plynů v listech (rychlost fotosyntézy a transpirace) se měřila na zcela rozvinutém listu, v centrální části listové čepele, *in situ*. Čistá rychlost fotosyntézy (PN; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a substomatální koncentrace CO_2 (Ci ; mol^{-1}) byly měřeny nedestruktivní metodou za použití integrovaného fluorometru a systému výměny plynů – iFL (ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, UK). Rychlost výměny plynů byla měřena ráno (8-13 h UTC) při hustotě ozáření $650 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a teplotě 25 °C dle modifikované metodiky Holé et al. /51/.

Obsah pigmentů

Obsah pigmentů byl stanoven dle metodiky Kuklové et al. /52/. Z listů révy byly odebrány extrahované terče o velikosti 1 cm². Terče byly umístěny do plastových lahvíček a byl přidán 1 ml dimethylformamidu (DMF; Merck KGaA, Darmstadt, Německo). Během 24 hodin byly pigmenty extrahovány v chladu a tmě za nepřetržitého třepání. Dvacet čtyři hodin po odběru byly vzorky spektrofotometricky analyzovány pomocí přístroje UV-Vis Evolution 2000 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA). Jako slepý pokus byl použit čistý dimethylformamid /52/.

Parametry fluorescence

Fluorescence byla měřena na stejných listech jako rychlost fotosyntézy. Jednalo se o maximální kvantový výtěžek fotosystému II (Fv/Fm), poměr maximální fluorescence k počáteční fluorescenci (Fm/Fo) a poměr variabilní fluorescence k počáteční fluorescenci (Fv/Fo). Pro měření parametrů fluorescence byl použit integrovaný fluorometr a systém výměny plynů - iFL (ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, Spojené království) /51, 52/.

Analýza vodního potenciálu

Pro měření vodního potenciálu listů byly čerstvě sklizené listy vloženy do injekční stříkačky, potažené parafilmem a zmrazené při -18 °C. Před samotným měřením byly stříkačky skladovány při pokojové teplotě, dokud tkáň nebyly zcela rozmrazeny. Několik kapek buněk bylo umístěno na terče o průměru 1,5 cm z filtračního papíru Whatman 1 a měřeno pomocí potenciometru rosného bodu WP4C pro výpočet osmotického potenciálu (MPa). Vodní potenciál jako energetický stav vody v systému byl stanoven pomocí rosného bodu s měřičem vodního potenciálu (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA) /51, 52/.

Stupnice celkové listové plochy na keř: nízká vedení = 0,5-1,5 m²/keř; střední vedení = 1,5-3 m²/keř; vyšší tvary = 3-6 m²/keř /35, 46/

Stupnice vodivosti průduchů (gs): hodnoty pod 0,02 mol H₂O m⁻² s⁻¹ značí již výraznější stres ze sucha a téměř uzavřené průduchy; hodnoty na 0,05-0,15 mol H₂O m⁻² s⁻¹ značí mírně otevřené průduchy a střední stres; hodnoty nad 0,2 mol H₂O m⁻² s⁻¹ značí naopak příhodné podmínky /53, 54, 55/. **Stupnice rychlosti fotosyntézy (A):** optimální podmínky, tj. plné světlo a dostatek vody = 15-25 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹; mírné sucho/stres, tj. průduchy částečně uzavřeny = 8-15 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹; silný vodní stres, tj. průduchy téměř uzavřeny = 2-8 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ /53, 55, 56/.

Stupnice transpirace (E): optimální podmínky, tj. dostatek vody a teplota 25-30 °C = 3-6 mmol H₂O m⁻² s⁻¹; mírný vodní stres = 1,5-3 mmol H₂O m⁻² s⁻¹; silný vodní stres (uzavřeny průduchy) = pod 1 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ /53, 55, 56/.

Stupnice účinnosti a funkčnosti ΦPSII (Fv/Fo): optimální stav = 4-5; mírný vodní stres = 3-4; silnější stres 2,5-3; dlouhodobější sucho až přehřátí listů = pod 2,5 /54, 55, 56/.

Stupnice fyziologického stavu a vitality ΦPSII (Fv/Fm): optimální stav = 0,79-0,84; mírný stres = 0,75-0,79; střední stres 0,70-0,75; silný stres = 0,60-0,70 /54, 55, 56/.

Statistické vyhodnocení

Pro vizualizaci získaných vícerozměrných dat byly použity základní statistické metody, jako je ANOVA a Tukeyho test, včetně PCA metody (Principal component analysis). Vícerozměrné metody umožňují znázornit a popsat vícerozměrná data, zjišťovat vztahy mezi jednotlivými proměnnými vs danými subjekty; a projekce sledovaných proměnných do faktorové roviny udává také vzájemnou možnou závislost mezi sledovanými proměnnými (komponenty). Ke zpracování vícerozměrných dat byl použit program Statistika14.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Odrůda *Sauvignon*

Průměrné hodnoty hlavních sledovaných parametrů u odrůdy *Sauvignon* naštěpovanou na 4 podnožích u třech variant se závlahou (A-kapka v zemi, B-kapka na vodícím drátu, C-kontrola bez závlahy) ukazuje tabulka 2.

Tab.2: Uvologické parametry u odrůdy *Sauvignon* (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Počet hroznů na keři (ks)	12,5	12,4	11,8	11,9	11,4	11,3	12,4	12,3	11,8	12,5	12,3	11,8
Počet výhonů na keři (ks)	6,63	6,63	6,38	6,25	6,25	6,13	6,63	6,63	6,38	6,63	6,63	6,25
Koeficient plodnosti	1,89	1,86	1,84	1,9	1,82	1,84	1,88	1,85	1,85	1,88	1,85	1,87
Hmotnost hroznů na keři (kg)	1,67	1,4	1,13	1,72	1,58	1,08	1,46	1,34	1,09	1,29	1,28	1,12
Hmotnost réví (kg)	0,35	0,33	0,29	0,33	0,33	0,30	0,32	0,33	0,29	0,29	0,30	0,28
Ravaz index	4,77	4,24	3,90	5,21	4,79	3,60	4,56	4,06	3,76	4,45	4,27	4,00
Šírka výhonu (cm)	1,12	1,14	1,06	1,08	1,10	1,04	1,10	1,18	1,06	1,12	1,22	1,10
Hmotnost hroznů (g)	133	111	92	139	136	95	114	103	90	101	102	87
Hmotnost bobule (g)	1,50	1,47	1,41	1,61	1,60	1,35	1,84	1,81	1,65	1,66	1,60	1,47
Hmotnost třapiny (g)	8,08	8,79	5,72	8,68	8,67	6,04	7,54	7,81	7,08	6,25	6,44	6,18
Počet bobulí (ks)	101	116	86	106	124	97	89	91	88	85	85	83
Výnos (t/ha)	8,25	6,93	5,57	8,49	7,83	5,35	7,21	6,64	5,39	6,37	6,33	5,56

Z tabulky 2 je zřejmé, že obě varianty se závlahou měly příznivý vliv na všechny sledované parametry, zejména však na výnos (hmotnost hroznů + počty bobulí v nich) a růst (šířky výhonů + hmotnost ořezaného réví). Nejlepší vitalitu, tedy bilanci mezi růstem a plodností, vyjádřenou Ravazovým indexem (RI) vykazovala varianta A – tedy kapková závlaha instalovaná v zemi (v hloubce 40 cm), umožňující dávkování závlahové vody přímo ke kořenům bez ztrát způsobených výparem při klasické kapkové závlaze. Z daných podnoží měly nejlepší parametry Kober 5BB a Richter 110. Optimálních hodnot RI, tj. rovnováhy mezi růstem a výnosem dosáhla jen varianta A s podnoží Richter 110 s hodnotou RI 5,21. Hodnoty pod 5 značí většinou příliš vegetativní růst (více letorostů a méně hroznů) nebo stresové podmínky, což vede k méně efektivní produkci vína /36, 44/. Na poněkud bujnější růst ukazují i hodnoty širší výhonu u báze.

Tab. 3: Celkové průměrné analytické hodnoty sledovaných parametrů u odrůdy Sauvignon (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Asimil.dusík (mg/l)	140	244	288	120	186	209	203	192	232	233	262	275
Zkvas.cukry Glu+fru (g/l)	230	214	219	113	230	233	222	214	208	238	234	245
Cukernatost hroznů (°Bx)	23,8	22,4	22,7	22,2	23,7	24,1	22,9	22,2	21,8	24,7	24,5	25,2
Cukernatost moštu(°NM)	23,3	21,7	22,0	21,4	23,2	23,6	22,3	21,4	21,0	24,3	24,1	24,9
Celk.kyseliny (g/l)	7,21	8,08	7,47	8,55	7,4	6,56	7,77	8,13	7,57	9,23	8,86	8,72
Kys.jablečná (g/l)	1,19	1,26	1,26	1,27	0,69	0,52	1,09	1,52	1,12	0,84	0,77	0,76
Kys. vinná (g/l)	8,42	8,29	7,87	8,63	8,15	6,51	8,40	7,92	7,58	9,80	9,32	8,95
Kys.citronová (g/l)	0,11	0,07	0,06	0,12	0,08	0,06	0,08	0,09	0,07	0,08	0,05	0,03
Kys.glukonová (g/l)	0,20	0,00	0,35	0,00	0,06	0,19	0,10	0,00	0,11	0,00	0,00	0,15
Kys. slizová (g/l)	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02
Kys. šikimová (mg/l)	3,92	1,79	2,34	4,28	2,09	1,28	3,22	2,21	2,77	2,38	1,83	3,52
pH moštu	3,39	3,28	3,47	3,10	3,26	3,33	3,33	3,21	3,31	3,22	3,20	3,30

Z tabulky 3 prům. analytických hodnot nejsou zřejmé žádné trendy napříč variantami. Přesto kontrolní varianty dosahovaly vyššího asimilovatelného dusíku v bobulích hroznů, ale zároveň i vyšší pH. Vyšší YAN může být pozitivní pro fermentaci, avšak vyšší pH může znamenat vyšší riziko mikrobiální degradace, tj. menší stabilitu vína a méně svěží chuť /57/. Vyšší zásoba asimilovatelného dusíku může tedy přinést lepší fermentaci, ale také vyšší vegetativní růst na úkor plodnosti, často i zpoždění zrání, a právě i vyšší pH /58/. Koncentrace kyseliny glukonové (podobně jako vyšší pH) ukazuje na napadení hroznů plísní šedou koncem měsíce září. Nejvyšší cukernatosti bylo dosaženo na podnoží SO 4 (u všech variant). U podnoží SO 4 a Richter 110 byla nejvyšší cukernatost zaznamenána u kontrolních variant, naopak u podnoží Kober 5 BB a Fercal u variant se závlahou (nejvíce u varianty A – kapková v půdě). Obsah kyselin byl obecně vyšší u variant se závlahou. Zásoba vody podporuje metabolismus (zachovává vyšší turgor, fotosyntézu a transport látek do bobulí, takže kyseliny se syntetizují a kumulují efektivněji) a méně stresované metabolické prostředí v bobulích zároveň způsobuje jejich pomalejší degradaci /59/.

Z tabulky 4 je patrné, že varianty se závlahou měly větší listovou plochu (tj. listy) oproti variantám kontrolním. Největší listovou plochu i velikost listů vykazovala varianta s podpovrchovou závlahou s podnoží Kober 5BB (2,92 m²/178,6 cm²), nejmenší pak kontrolní varianta s podnoží SO4 (2,21 m²) a nejmenší listy měla kontrolní varianta s podnoží Richter 110 (125,1 cm²). Hodnoty A (asimilační rychlost) nad 11 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ odpovídají dobré fotosyntéze u révy v běžných polních podmínkách, tj. průduchy jsou alespoň částečně otevřené a rostlina má přiměřené množství vody a světla /53, 55/. Těchto hodnot dosahovaly všechny

varianty. Hodnoty transpirace $E > 3 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ značí aktivní výpar a často dobré hodnoty fotosyntézy /54, 56/. Hodnot nad 3 dosahovaly jen varianty s klasickou kapkovou závlahou. Naopak hodnoty vodivosti průduchů (gs) vykazovaly hodnoty pod $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (u všech variant), což značí již stresovou reakci vyvolanou suchem a horkem ve vegetačním období (což potvrzuje graf 1) /55/.

Tab.4: Fyziologické parametry u odrůdy Sauvignon (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož											
	Kober 5BB			Richter 110			Fercal			SO 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Asimilační rychlost (A)	11,8 6	11,3 6	11,9 6	11,7 7	11,4 6	12,1 4	11,5 4	11,5 0	11,4 7	11,5 0	12,0 7	11,9 9
Exspirace - rychlost transpirace (E)	2,95	3,65	2,83	2,27	2,89	3,74	2,35	3,97	3,05	2,43	3,38	2,84
Vodivost průduchů (gs)	0,04 7	0,03 5	0,02 1	0,05 8	0,08 7	0,01 5	0,02 4	0,03 6	0,01 4	0,02 0	0,01 5	0,01 8
Účinnost fotosystém u PSII (Fv/Fo)	1,39	1,70	1,18	1,37	1,46	1,06	1,47	1,53	1,09	1,41	1,26	1,16
Maximální kvantová výťažnost PSII (Fv/Fm)	0,71	0,74	0,70	0,78	0,75	0,75	0,76	0,77	0,73	0,78	0,75	0,72
Prům. listová plocha listu (cm ²)	178, 6	166, 7	168, 8	138, 4	127, 3	125, 1	161, 6	165, 2	166, 8	174, 5	154, 2	150
Celková listová plocha keře (m ²)	2,92	2,87	2,66	2,44	2,24	2,23	2,78	2,84	2,45	2,63	2,45	2,21

Legenda: Čistá rychlost fotosyntézy (A; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), účinnost fotosystému II (Fv/Fo) a maximální kvantový výťažek fotosystému II (Fv/Fm).

Nižší hodnoty gs vykazovaly varianty se závlahou, zejména u podnoží Kober 5BB a Richter 110. To lze vysvětlit jednak větší velikostí listové plochy a zastíněním (velké listy se navzájem stíní) a dále v případě podzemní závlahy dochází k intenzivnější tvorbě kořenového vlášení a asimiláty jsou využity na tvorbu kořenů, což se projeví na rychlosti fotosyntézy, ale nikoliv na přenosu elektronů. Pochopitelně pro rostlinu je to přirozenější zdroj vody, a tedy i nižší stres. Svou roli zde může hrát i evapotranspirace a mikroklima pokusné vinice /60, 61/. Podobně hodnoty efektivity fotosyntézy (Fv/Fo) pod 2,0 opět signalizují silné omezení PSII (silný stres). Obecně platí, že čím vyšší je hodnota, tím efektivněji PSII funguje a tím méně je rostlina ve stresu, v letním období zejména ze sucha, přehřátí či poškození světlem /62, 63, 64/. Poněkud vyšší hodnoty vykazovaly opět varianty se závlahou, která omezovala účinky sucha a přehřátí. Maximální kvantovou účinnost PSII (tedy jak efektivně dokáže rostlina přeměnit

světelnou energii na chemickou, tj. na elektrony pro fotosyntézu) vykazovaly opět varianty se závlahou – zejména s podpovrchovou u podnoží SO4 a Richter 110 (0,78). Hodnoty Fv/Fm nad 0,78 značí zdravou nestresovanou rostlinu a PSII pracuje optimálně; hodnoty 0,70-0,78 značí mírný stres a omezení fotosyntézy a hodnoty pod 0,70 pak silný stres až poškození PSII /54, 64/. Všechny varianty vykazovaly střední hodnoty v rozmezí 0,71-0,78, značící mírně stresové podmínky.

Odrůda **Chardonnay**

Průměrné hodnoty hlavních sledovaných parametrů u odrůdy **Chardonnay** naštěpovanou na 2 podnožích u třech variant se závlahou (A-kapka v zemi, B-kapka na vodícím drátu, C-kontrola bez závlahy) ukazuje tab. 4.

Tab. 4: Uvologické parametry u odrůdy Chardonnay (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož					
	Kober 5BB			Richter 110		
	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola	A	B	C
Počet hroznů na keři (ks)	12,13	12,00	11,50	8,36	8,25	7,63
Počet výhonů na keři (ks)	6,88	6,75	6,63	5,50	5,38	5,00
Koeficient plodnosti	1,76	1,78	1,73	1,53	1,51	1,46
Hmotnost hroznů na keři (kg)	2,33	2,14	1,52	1,34	1,31	0,98
Hmotnost réví (kg)	0,43	0,43	0,40	0,28	0,27	0,25
Ravaz index	5,42	4,98	3,80	4,80	4,85	3,85
Šířka výhonu (cm)	1,17	1,18	1,12	0,96	0,98	0,96
Hmotnost hroznů (g)	197,47	180,37	126,40	158,62	156,68	124,32
Hmotnost bobule (g)	1,94	1,62	1,55	1,90	1,60	1,41
Hmotnost třapiny (g)	10,24	12,09	8,06	9,63	9,5	8,95
Počet bobulí (ks)	133,25	134,33	120,25	133,33	124,25	101,25
Výnos (t/ha)	8,56	7,91	5,58	4,95	4,90	3,65

Varianty se závlahou měly opět obecně lepší parametry, včetně výnosů i RI. V porovnání mezi podnožemi Kober 5BB a Richter 110 měla podnož 110 R výrazně slabší růst (hmotnost ořezaného réví, šířka výhonu i Ravaz index), ale žel také výnos (index plodnosti, počet hroznů). Oproti předešlé tabulce je zřejmý i jasný vliv naštěpované odrůdy (popř. klonu) na sledované parametry. Zdá se tedy, že podnožová odrůda Richter 110 není pro odrůdu Chardonnay úplně optimální při očekávání vyšších výnosů. To potvrzuje i studie Wooldridge a kol. /65/, potvrzující slabší výnosy u odrůdy Chardonnay, ale zato vyzdvihují vysokou kvalitu vyrobeného vína. To je však logické, neboť méně hroznů na keři umožňuje jejich rychlejší a lepší vyžrání /35, 66/.

Rozdíly analytických hodnot byly napříč variantami se závlahou i podnožemi minimální. Lehce vyšší cukernatosti dosáhly varianty se závlahou a logicky pak vykazovaly nižší obsah kyselin. I rozdíly v pH moštu byly minimální.

Tab. 5: Celkové průměrné analytické hodnoty sledovaných parametrů u odrůdy Chardonnay (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož					
	Kober 5BB			Richter 110		
	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola
Asimil.dusík (mg/l)	226	292	252	200	162	240
Zkvas.cukry Glu+fru (g/l)	223,3	206,8	224,1	223,6	219,4	216,8
Cukernatost hroznů (°Bx)	23,1	21,7	23	23,2	22,6	22,3
Cukernatost moštu(°NM)	22,5	20,9	22,4	22,6	21,9	21,6
Celk.kyseliny (g/l)	6,76	7,51	7,44	6,83	6,81	6,99
Kys.jablečná (g/l)	2,41	2,87	2,59	1,72	1,59	2,15
Kys. vinná (g/l)	8,16	8,51	8,97	8,02	8,14	8,50
Kys.citronová (g/l)	0,13	0,12	0,12	0,12	0,09	0,08
Kys.glukonová (g/l)	0,11	0,09	0,00	0,00	0,00	0,26
pH moštu	3,44	3,42	3,38	3,39	3,31	3,42

Tab.6: Fyziologické parametry u odrůdy Chardonnay (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož					
	Kober 5BB			Richter 110		
	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola	A	B	C
Asimilační rychlost (A)	11,71	11,79	11,10	12,15	12,01	11,30
Exspirace - rychlost transpirace (E)	2,56	2,06	1,43	2,63	2,27	1,61
Vodivost průduchů (gs)	0,017	0,026	0,028	0,018	0,044	0,046
Účinnost fotosystému PSII (Fv/Fo)	1,53	1,40	1,42	1,19	1,16	1,67
Maximální kvantová výtěžnost PSII (Fv/Fm)	0,77	0,72	0,72	0,67	0,64	0,65
Prům. listová plocha listu (cm ²)	214,31	191,58	194,50	166,95	156,83	151,51
Celková listová plocha keře (m ²)	2,51	2,28	2,22	2,22	2,26	2,16

Legenda: Čistá rychlost fotosyntézy (A; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), účinnost fotosystému II (Fv/Fo) a maximální kvantový výtěžek fotosystému II (Fv/Fm).

Z tabulky 6 je patrné, že varianty s podnoží Kober 5BB měly větší listy, tj. větší listovou plochu oproti menší ploše i listům variant s podnoží Richter 110. Nicméně menší listy bývají lépe osluněny (tolik se nepřekrývají) a mývají větší výkon, tedy rychlost asimilace (A) /55/, což se potvrdilo. U rychlosti transpirace byly rozdíly u zavlažovaných variant minimální a dle předpokladů vykazovaly kontrolní varianty nižší hodnoty díky omezení turgoru a uzavření

průduchů. Nejvyšší efektivitu fotosystému II vykazovala kontrolní varianta s podnoží Richter 110 (1,67), následovaná variantou A (závlaha v půdě) s podnoží Kober 5BB (1,53). Ukazatel *maximální kvantové efektivity PSII* má mít u zdravých rostlin typickou hodnotu kolem **0,83** /54, 55/. Všechny sledované varianty vykazovaly nižších hodnot, což značí vystavení rostlin stresovým podmínkám (sucho, teplo, UV záření). Lehce vyšší hodnoty vykazovaly varianty se závlahou v půdě. Stresovou reakci potvrzují i hodnoty vodivosti průduchů (gs), neboť za optimálních podmínek jsou průduchy otevřené a vykazují hodnoty $> 0,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ /53/ a ve stresových podmínkách se průduchy uzavírají a klesá výměna plynů /53, 56/. Nejnižší hodnoty gs byly naměřeny u variant kontrolních.

Odrůda **Rulandské modré**

Průměrné hodnoty hlavních sledovaných parametrů u odrůdy **Rulandské modré** naštěpovanou na 2 podnožích u třech variant se závlahou (A-kapka v zemi, B-kapka na vodícím drátu, C-kontrola bez závlahy) ukazuje tabulka 6.

Tab. 6: Uvologické parametry u odrůdy *Rulandské modré* (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož					
	Kober 5BB			Fercal		
	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola
Počet hroznů na keři (ks)	11,13	11,00	9,88	11,63	11,50	11,25
Počet výhonů na keři (ks)	6,25	6,25	6,13	6,38	6,25	6,37
Koeficient plodnosti	1,78	1,76	1,61	1,82	1,84	1,76
Hmotnost hroznů na keři (kg)	1,49	1,37	1,28	1,55	1,49	1,42
Hmotnost réví (kg)	0,29	0,30	0,28	0,30	0,30	0,29
Ravaz index	5,14	4,57	4,57	5,20	4,97	4,90
Šírka výhonu (cm)	1,15	1,14	1,12	1,18	1,15	1,14
Hmotnost hroznu (g)	125,99	123,27	110,68	128,09	126,51	119,83
Hmotnost bobule (g)	1,85	1,81	1,46	1,68	1,67	1,30
Hmotnost třapiny (g)	10,04	9,52	8,96	9,87	9,74	9,56
Počet bobulí (ks)	111,67	117,25	106,25	125,25	124,67	122,33
Výnos (t/ha)	7,31	6,80	6,32	7,65	7,38	6,93

Varianty se závlahou měly opět obecně lepší parametry, zejména ty ovlivňující výnos. Při porovnání obou podnoží pro danou lokalitu vycházela lépe podnož Fercal (lepší výnos i RI) nežli standardní Kober.

Tab.7: Celkové průměrné analytické hodnoty sledovaných parametrů u odrůdy Rulandské modré (2024)

Sledované parametry	Varianta/Podnož					
	Kober 5BB			Fercal		
	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola
Asimil.dusík (mg/l)	269	262	283	224	259	247
Zkvas.cukry Glu+fru (g/l)	253,8	219,2	226,2	224,6	230,5	254,6
Cukernatost hroznů (°Bx)	25,5	22,7	23,2	23,3	23,8	25,6
Cukernatost moštu(°NM)	25,3	22,0	22,6	22,7	23,3	25,4
Celk.kyseliny (g/l)	6,77	7,33	7,74	7,11	7,84	7,26
Kys.jablečná (g/l)	1,63	2,19	2,12	1,73	2,27	1,77
Kys. vinná (g/l)	3,56	4,31	5,30	4,44	4,34	4,42
Kys.citronová (g/l)	0,13	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10
Kys.glukonová (g/l)	0,45	0,29	0,10	0,10	0,16	0,22
pH moštu	3,56	3,44	3,32	3,40	3,41	3,42

Naměřené výsledky potvrzují, že varianty s vyšší cukernatostí vykazují naopak nižší obsah kyselin a asimilovatelného dusíku v hroznech. Naměřená množství jsou však v optimálních hodnotách pro bezproblémové kvašení. Je však zajímavé, že nejvyšší cukernatosti dosáhla kontrolní varianta bez závlahy na podnoži Fercal, což bylo způsobeno patrně nižším výnosem (méně hroznů na keřích).

Z tab. 8 je patrné, že varianty se závlahou vykazovaly větší listovou plochu (zejména na podnoži Kober 5BB) oproti variantám kontrolním. Nejvyšší rychlost fotosyntézy (A), ale zároveň i rychlost transpirace (E) vykazovala varianta A s podpovrchovou závlahou u podnože Fercal (rozdíly s ostatními variantami jsou však minimální). Také rozdíly maximální kvantové výtěžnosti PSII byly u všech variant minimální (0,72 – 0,77). Nejvyšší efektivitu fotosystému II vykazovala kontrolní varianta s podnoží Kober 5BB (2,02). Tato hodnota je již poměrně vysoká, neboť reálná účinnost v přírodě se obvykle pohybuje jen 1-3 % /60/. Nejnižší vodivost průduchů (gs), zároveň tedy nejvyšší stres, vykazovala kontrolní varianta s podnoží Fercal (0,078 mol m⁻² s⁻¹).

Obecně mají listy rostlin rostoucích v podmínkách sucha menší listovou plochu, větší tloušťku a vyšší hustotu listů /9, 10/, což je podle Djanaguiraman a kol. /11/ způsobeno snížením turgoru. Snížení turgoru pak následně snižuje rychlost fotosyntézy, tvorbu a dostupnost asimilátů /12, 14/, což se projevuje i v této studii.

Při vzájemném srovnání všech sledovaných komponent pomocí PCA analýzy (graf 2) vidíme užší vazby mezi fyziologickými veličinami (pozitivní korelaci) jako rychlost fotosyntézy (A) a rychlost transpirace (E), spolu s cukernatostí (C), které jsou v negativní korelaci (opačné korelaci) k ostatním komponentám, zejména obsahu kyselin v hroznech (K), vodivosti průduchů (GS) a velikosti listové plochy (LP). Komponenty výnosu (V) a šířka výhonu (ŠV) jsou umístěny poblíž kružnice a tudíž značí silnou korelaci s ostatními komponentami v kvadrantu (např. při vyšším výnosu obsahují hrozny více kyselin na úkor

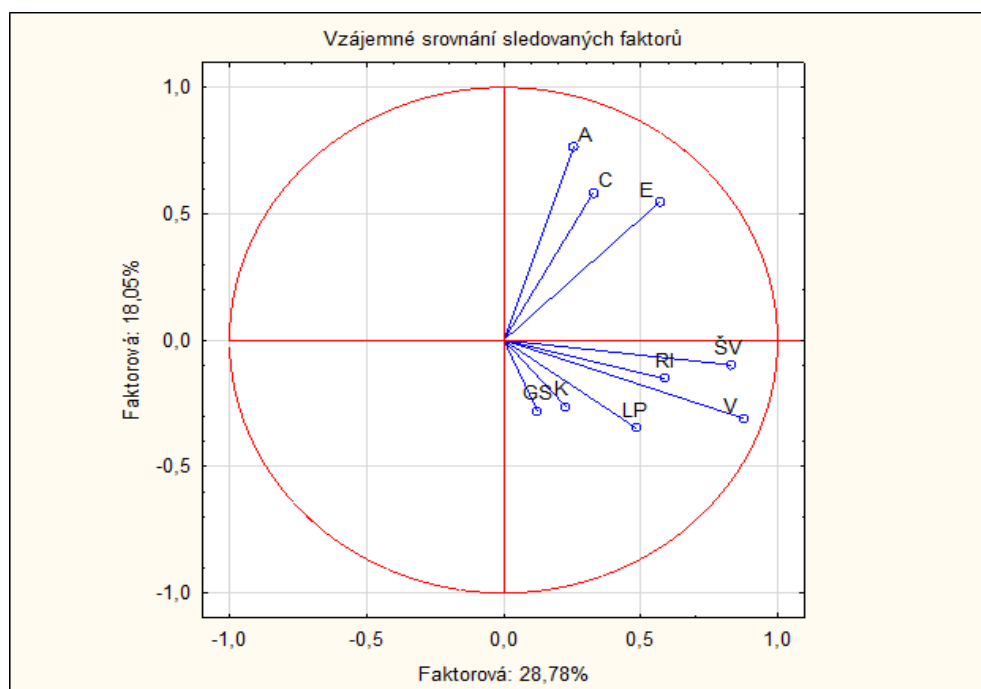
cukernatosti a rostlina má i bujnější růst – reprezentován šířkou výhonu a počtem listů; výnos má dále vliv i na RI, ale méně již na rychlost transpirace a fotosyntézu).

Tab.8: Fyziologické parametry u odrůdy Rulandské modré (2024)

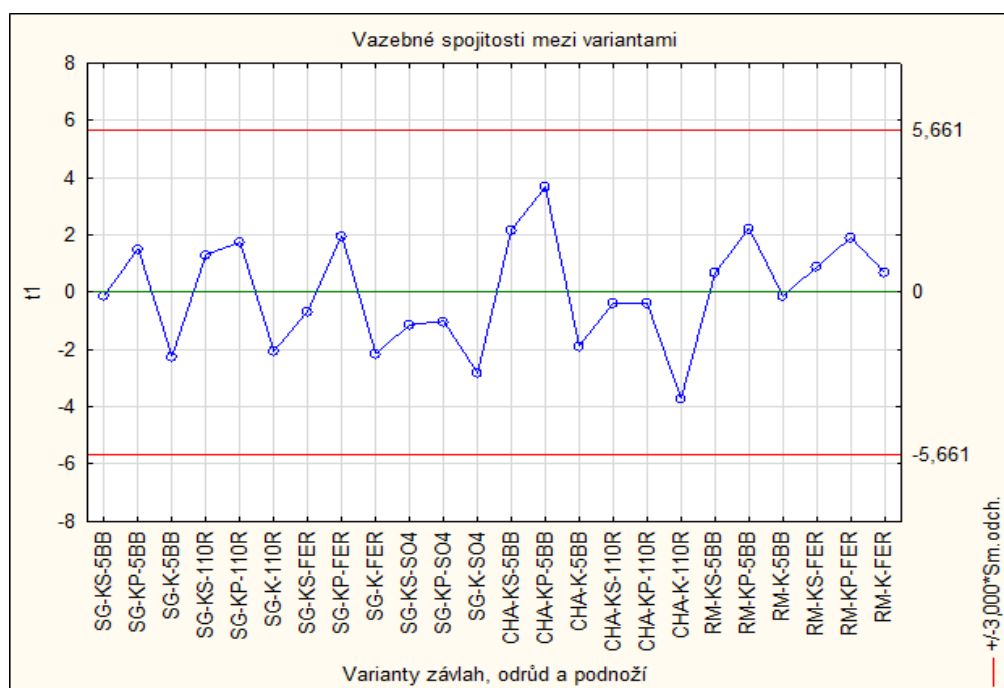
Sledované parametry	Varianta/Podnož					
	Kober 5BB			Fercal		
	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola	A - v zemi	B - kapka	C - kontrola
Asimilační rychlost (A)	11,83	12,05	11,55	12,12	11,92	11,95
Exspirace - rychlost transpirace (E)	3,15	3,44	2,74	3,90	3,19	3,72
Vodivost průduchů (gs)	0,020	0,032	0,010	0,021	0,033	0,078
Účinnost fotosystému PSII (Fv/Fo)	1,71	1,63	2,02	0,04	1,19	1,51
Maximální kvantová výtěžnost PSII (Fv/Fm)	0,72	0,77	0,72	0,76	0,76	0,77
Prům. listová plocha listu (cm ²)	174,38	173,75	142,50	166,13	152,63	152,61
Celková listová plocha keře (m ²)	2,69	2,55	2,11	2,47	2,20	2,10

Legenda: Čistá rychlost fotosyntézy (A; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), rychlost transpirace (E; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), vodivost průduchů (gs; $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), účinnost fotosystému II (Fv/Fo) a maximální kvantový výtěžek fotosystému II (Fv/Fm).

Graf 3 ukazuje souhrnnou PCA analýzu jednotlivých variant oproti nejvýznamnějšímu komponentu V-výnos, kde program stanovil optimum (dle směrodatných odchylek), tj. všechny varianty poblíž této zelené čáry (normalita) vykazovaly vhodnost použití a střední výnos; varianty výrazně pod čarou (zejména kontrolní varianty = nízký výnos a slabší růst) či nad čarou (zejména varianty s podpovrchovou závlahou = vyšší výnosy a intenzivnější růst) se pohybovaly mimo toto optimum (abnormality u sledovaných komponent daných variant). Silnější růst a vyšší výnosy vykazovaly varianty se závlahou a zejména na podnožích Kober 5BB a Fercal. Naopak slabší růst i výnos vykazovaly zejména varianty kontrolní na podnožích SO4 (u odrůdy Sauvignon) a Richter 110 (u odrůdy Chardonnay).

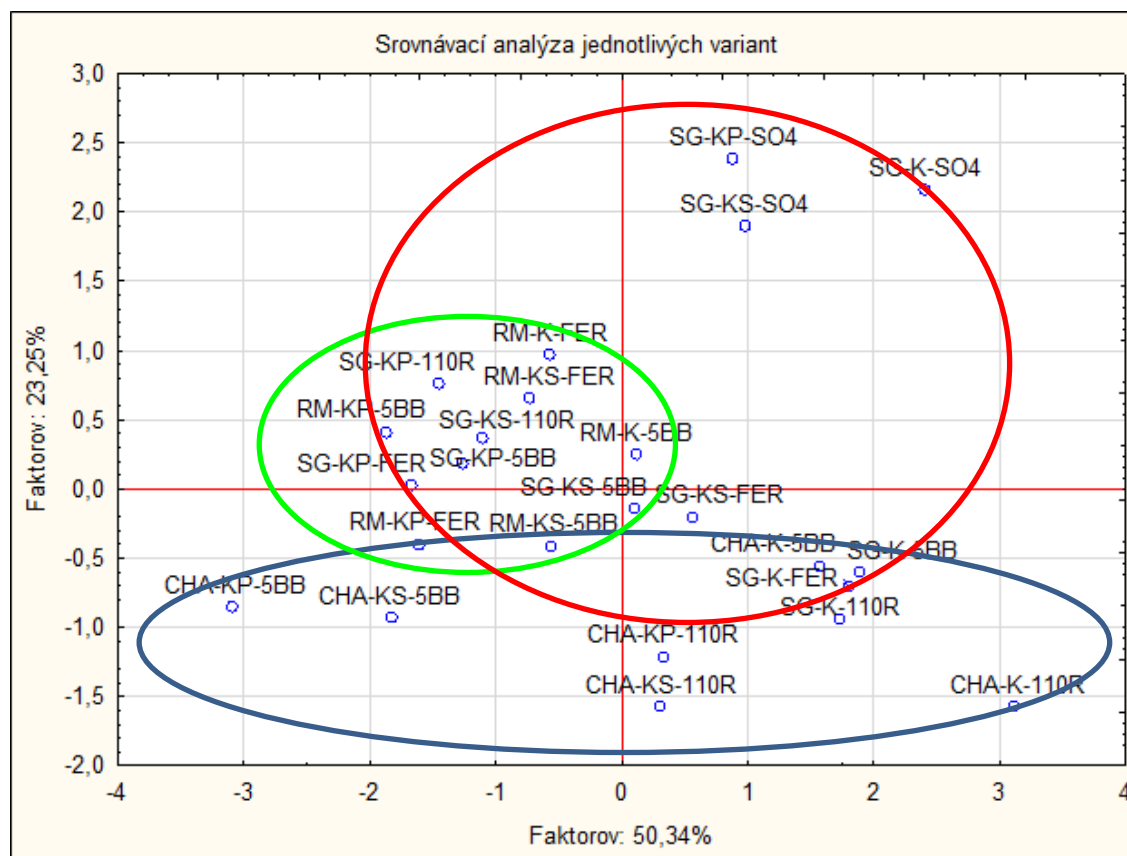


Graf 2: PCA analýza vybraných komponent (RI, fluorescence, výnos, cukernatost, obsah kyselin) vzájemně mezi sebou u všech variant. Legenda: V – výnos, RI – Ravaz index, LP – listová plocha, ŠV – šířka výhonu, A – asimilační rychlost, E – rychlost transpirace, GS – vodivost průduchů, C – cukernatost a K – obsah kyselin v hroznech.



Graf 3: Regulační čárový graf vazebné spojitosti mezi sledovanými variantami. Legenda: odrůdy – CHAR (Chardonnay), SG (Sauvignon) a RM (Rulandské modré); závlahy KS – kapková standardní, KP – kapková podpovrchová a K – kontrola bez závlahy; jednotlivé podnože – 5BB, 110R, SO4 a FERCAL

Výsledky této studie tak nepodporují výstupy Gambetta a kol. /67/, který vyslovil názor, že podnož SO4 je tolerantní k suchu. Naopak výsledky plně korespondují s popisem Krause /66/, když tvrdí, že tato podnož dlouhodoběji suchu zcela nesnáší. Je tedy možné, že zdejší klon SO4 má poněkud jiné vlastnosti nebo je zde silnější odrůdová závislost. Bujněji rostoucí odrůda Sauvignon vyžaduje zkrátka bujněji rostoucí podnož ve zdejších suchých podmínkách. Podobně Smart /43/ tvrdí, že podnož Richter 110 by měla podporovat výnosy a růst dobře v suchých podmínkách. Ale patrně opět nebude plně vhodná pro všechny odrůdy, neboť i výsledky této studie podporují závěry Woodldriche a kol. /65/, že pro dané podmínky bez závlahy není tato podnož pro odrůdy Chardonnay i Sauvignon příliš vhodná.



Graf 4: Vzájemné srovnání všech sledovaných variant a komponent pomocí shlukové analýzy. Legenda: odrůdy – CHAR (Chardonnay), SG (Sauvignon) a RM (Rulandské modré); závlahy KS – kapková standardní, KP – kapková podpovrchová a K – kontrola bez závlahy; jednotlivé podnože – 5BB, 125AA, 110R, SO4 a FERCAL

Graf 4 vyjadřuje rozdíly mezi jednotlivými variantami souhrnně mezi odrůdami, závlahami i jednotlivými podnožemi vzájemně mezi sebou. Z grafu 4 jsou patrné právě i odrůdové rozdíly, kde odrůda Chardonnay (CHAR, modrá skupina) se nachází úplně dole, odrůda Sauvignon (SG, červená skupina) stojí více nahoře a uprostřed a odrůda Rulandské modré (RM, zelená) je uprostřed; kde střed grafu, tj. průsečíky kružnic značí obdobné vlastnosti a minimální rozdíly. Naopak zcela mimo stojí odrůda Sauvignon na podnoži SO4 (vpravo nahoře) a Chardonnay na podnožích 110R (vpravo dole) i 5BB (vlevo dole). Také lze vidět rozdíly mezi jednotlivými variantami závlahy, kde kontrolní varianty (K) jsou vždy více

napravo, kapková podpovrchová závlaha (KP) je více nalevo a klasická kapková závlaha (KS) pak vždy uprostřed.

ZÁVĚR

Studie naznačuje, že na dané lokalitě jsou patrné odrůdové rozdíly v uvologických i analytických hodnotách, jak u použitých podnoží, tak u různých systémů závlahy oproti kontrolním variantám. Ukazuje se, že podnožová odrůda Richter 110 zpožďuje nástupy fenofází a zpočátku brzdí růst, u odrůdy Chardonnay pak i omezuje výnos. Je otázkou, do jaké míry jsou výsledky ovlivněny stresem ze sucha v létě v daném roce a vyšším podílem vápníku v půdě. Nejbujněji a nejvitálněji, včetně vyšších výnosů, rostly odrůdy na podnoží Kober 5BB. Výjimkou pak byla podnož Fercal u odrůdy Rulandské modré (Pinot noir). Tato francouzská podnož je doporučována právě pro vápenité půdy, zejména pro Cabernety a Pinoty. Odrůda Sauvignon na podnoží SO4 vykazovala sice největší bobule, ale také nejmenší hrozny i výnosy, a to i ve variantách pod závlahou. Hrozny však měly nejvyšší cukernatost. To ukazuje, že tato podnož již pro zdejší podmínky není pro tuto odrůdu zcela vhodná, neboť vysoké cukry v hroznech nejsou v současnosti ukazatelem kvality, spíše naopak. Pro danou lokalitu se osvědčila podnož Kober 5BB pro odrůdu Chardonnay a Sauvignon, a podnož Fercal pro odrůdu Rulandské modré.

Obě testované varianty se závlahou měly příznivý vliv na všechny sledované parametry, zejména však na výnos (hmotnost hroznů + počty bobulí v nich) a růst (šířky výhonů + hmotnost ořezaného réví). Nejlepší vitalitu, tedy bilanci mezi růstem a plodností, vyjádřenou Ravazovým indexem (RI) vykazovala varianta A – tedy kapková závlaha instalovaná v zemi (v hloubce 40 cm), umožňující dávkování závlahové vody přímo ke kořenům bez ztrát způsobených výparem při klasické kapkové závlaze.

Kontrolní varianty bez závlahy dále vykazovaly nejvyšší míru stresu vyvolaného suchem během léta (za měsíce červen-srpen spadlo jen 57,8 mm srážek), což se projevilo i zvýšenou citlivostí k houbovým chorobám na listech (zejména atakem plísně révové). Stresované rostliny suchem a vyššími teplotami vykazovaly menší listovou plochu, byly fotosynteticky méně aktivní, měly slabší výnosy i vitalitu (RI).

LITERATURA

- /1/ Alston, J.M, Sambucci, O. (2019). Grapes in the world economy. *Compendium of Plant Genomes*. DOI: 10.1007/978-3-030-18601-2_1.
- /2/ De Lorenzis G, Carbonell-Bejerano P, Toffolatti SL and Tello J (2022). Editorial: Advances in grapevine genetic improvement: Towards high quality, sustainable grape production. *Front. Plant Sci.* 13:1080733
- /3/ Sinclair, G., Galarneau, E.R., Hnizdor, J.F., McElrone, A.J., Walker, M.A., Barlett, M.K. (2024). Grape cultivars adapted to hotter, drier growing regions exhibit greater photosynthesis in hot conditions despite less drought-resistant leaves. *Ann Bot.*, 134(2):205-218. doi: 10.1093/aob/mcae032.
- /4/ Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50.
- /5/ Haider, M. S., Zhang, C., Kurjogi, M. M., Pervaiz, T., Zheng, T., Zhang, C. & Fang, J. (2017). Insights into grapevine defense response against drought as revealed by biochemical, physiological and RNA-Seq analysis. *Scientific reports*, 7(1), 13134.
- /6/ Tan, J. W., Shinde, H., Tesfamichael, K., Hu, Y., Fruzangohar, M., Tricker, P., ... & Rodríguez López, C. M. (2023). Global transcriptome and gene co-expression network analyses reveal regulatory and non-additive effects of drought and heat stress in grapevine. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1096225.

- /7/ Patmi, Y. S., & Pitoyo, A. (2020). Effect of drought stress on morphological, anatomical, and physiological characteristics of Cempo Ireng cultivar mutant rice (*Oryza sativa* L.) strain 51 irradiated by gamma-ray. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1436, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- /8/ Bigler, C., & Vitasse, Y. (2021). Premature leaf discoloration of European deciduous trees is caused by drought and heat in late spring and cold spells in early fall. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108492.
- /9/ Dong, N., Prentice, I. C., Wright, I. J., Evans, B. J., Togashi, H. F., Caddy-Retalic, S., McInerney, F.A., Sparrow, B., Leitch, E., Lowe, A.J. (2020). Components of leaf-trait variation along environmental gradients. *New Phytol.* 228 (1), 82–94. doi: 10.1111/nph.16558
- /10/ Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- /11/ Djanaguiraman, M., Narayanan, S., Erdayani, E., Prasad, P.V.V. (2020). Effects of high temperature stress during anthesis and grain filling periods on photosynthesis, lipids and grain yield in wheat. *BMC Plant Biology*, 20, 268. DOI: 10.1186/s12870-020-02479-0.
- /12/ Xing, D., Mao, R., Zhenyi, L., Wu, Y., Qin, X., Fu, W. (2022). Leaf intracellular water transport rate based on physiological impedance: A possible role of leaf internal retained water in photosynthesis and growth of tomatoes. *Front. Plant Sci.* vol.13, doi.org/10.3389/fpls.2022.845628.
- /13/ Zhang, C., Wu, Y., Su, Y., Xing, D., Dai, Y., Wu, Y., et al. (2020). A plant's electrical parameters indicate its physiological state: a study of intracellular water metabolism. *Plants* 9:1256. doi: 10.3390/plants9101256
- /14/ Zhang J., Ge J., Dayananda B. & Li J. (2022). Effect of light intensities on the photosynthesis, growth and physiological performances of two maple species. *Frontiers in Plant Science*, 13:999026. doi:10.3389/fpls.2022.999026.
- /15/ Nardini, A. (2022). Hard and tough: the coordination between leaf mechanical resistance and drought tolerance. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 288, 152023. DOI: 10.1016/j.flora.2022.152023
- /16/ Sapeta, H., Yokono, M., Takabayashi, A., Ueno, Y., Cordeiro, A.M., Hara, T., Tanaka, A., Akimoto, S., Oliveira, M.M., Tanaka, R. (2022). Reversible down-regulation of photosystems I and II leads to fast photosynthesis recovery after long-term drought in *Jatropha curcas*. *Journal of Experimental Botany*, 74(1), 336-351. DOI: 10.1093/jxb/erac423.
- /17/ Todorova, D., Aleksandrov, V., Anev, S., Sergiev, I. (2022). Photosynthesis Alterations in Wheat Plants Induced by Herbicide, Soil Drought or Flooding. *Agronomy*, 12(2): 390. DOI: 10.3390/agronomy12020390.
- /18/ Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50.
- /19/ Sorek, Y., Greenstein, S., Netzer, Y., Shtein, I., Jansen, S., Hochberg, U. (2021) „An increase in xylem embolism resistance of grapevine leaves during the growing season is coordinated with stomatal regulation, turgor loss point and intervessel pit membranes.“ *New Phytologist*, 229(4), 1955-1969
- /20/ Blum, A. (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112, 119-123.
- /21/ Blum, A. (2017). Osmotic adjustment is a prime drought–stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, Cell & Environment* 40(4): 4-10.
- /22/ Gagneul, D., Ainouche, A., Duhazé, C., Lugan, R., Larher, F. R., & Bouchereau, A. (2007). A reassessment of the function of the so-called compatible solutes in the halophytic *Plumbaginaceae* *Limonium latifolium*. *Plant Physiology*, 144(3), 1598-1611
- /23/ Kar, R. (2011). Plant responses to water stress: Role of reactive oxygen species. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1741-1745. doi:10.4161/psb.6.11.17729
- /24/ Miller, G., Suzuki, N., Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33, 453–467. DOI:10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x.
- /25/ Al Hassan M., Chaura J., Donat-Torres M. P., Boscaiu M., Vicente O. (2017). Antioxidant responses under salinity and drought in three closely related wild monocots with different ecological optima. *AoB PLANTS*, 9(2): plx009. doi:10.1093/aobpla/plx009.
- /26/ Lin, Y., Liu, S., Fang, X., Ren, Y., You, Z., Xia, J., ... & Shangguan, L. (2023). The physiology of drought stress in two grapevine cultivars: Photosynthesis, antioxidant system, and osmotic regulation responses. *Physiologia Plantarum*, 175(5), e14005.
- /27/ Hsiao, T. C., & Xu, L. K. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of experimental botany*, 51(350), 1595-1616.
- /28/ Sinclair, G., Galarnau, E.R., Hnizdor, J.F., McElrone, A.J., Walker, M.A., Barlett, M.K. (2024). Grape cultivars adapted to hotter, drier growing regions exhibit greater photosynthesis in hot conditions despite less drought-resistant leaves. *Ann Bot.*, 134(2):205-218. doi: 10.1093/aob/mcae032.

- /29/ Scoffoni C., Albuquerque C., Cochard H., Buckley T. N., Fletcher L. R., Caringella M. A., Bartlett, M., Brodersen, C., Jansen, S., McElrone, A.J., Sack L. (2018). *The causes of leaf hydraulic vulnerability and its influence on gas exchange in Arabidopsis thaliana*. Plant Physiology, 178(4), 1584-1601. doi:10.1104/pp.18.00743.
- /30/ Morgan, J. M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. Annual Review of Plant Physiology, 35, 299-319. doi:10.1146/annurev.pp.35.060184.001503
- /31/ Hsiao, T. C., Acevedo, E., Fereres, E. & Henderson, D. W. (1976). Water stress, growth and osmotic adjustment. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 273: 479–500. doi:10.1098/rstb.1976.0026.
- /32/ Bartlett M.K., Sinclair G. (2021). Temperature and evaporative demand drive variation in stomatal and hydraulic traits across grape cultivars. Journal of Experimental Botany, 72(5):1995-2009. doi:10.1093/jxb/eraa577.
- /33/ Ju Y., Yue X., Zhao X., et al. (2018). Physiological, micro-morphological and metabolomic analysis of grapevine (Vitis vinifera L.) leaf of plants under water stress. Plant Physiology and Biochemistry, 130, 501–510.
- /34/ Sklenička, P., Kottová, B., Černý-Pixová, K., Kravka, M. (2020). Závlahy v České republice – východiska směrem k adaptaci na klimatickou změnu, Souhrnná zpráva, ČZU – Fakulta životního prostředí, Praha.
- /35/ Pavloušek, P. (2024). Pěstování révy vinné – moderní vinohradnictví, Graga Praha (druhé rozšířené vydání). ISBN 9788027131662.
- /36/ Vance A.J., Skinkis P. (2013). Understanding vine balance: an important concept in vineyard management Book Understanding vine balance: an important concept in vineyard management. Oregon State University.
- /37/ Vance A.J. (2012). Impacts of crop level and vine vigor on vine balance and fruit composition in Oregon Pinot noir. Oregon university.
- /38/ Těthal, J., Sochor, J., Sotolář, R., Pavloušek, P., Baroň, M., Danko, R., Kaplan, M., Klimek, K. (2025). A study on effects of rootstocks on vine balance of 'Cerason' cultivar. Horticultural Science (Prague), 52: 202-214.
- /39/ Sotolář, R. (2023). Srovnání uvologických a analytických parametrů u různého typu vedení révy. Vinař – sadař, 1: 30-33.
- /40/ AZ Aqua Czech s.r.o. (2025). Závlahové systémy. 2024. <https://azaqua.cz/>
- /41/ Plant Grape - INRA, IFV (2025): Catalogue of grape vines cultivated in France. <https://www.plantgrape.fr/en/varieties/rootstock-varieties>.
- /42/ Galet, P. (1988). Cépages et vignobles de France. Ed. Dehan, Montpellier, Francie.
- /43/ Smart, R (2015). Vine rootstocks in the *Oxford Companion to Wine* 4th edition ed. Jancis Robinson and Julia Harding MW, Oxford University Press, p.628.
- /44/ Ravaz, M.K. (1903). Influence spécifique réciproque du greffon et du sujet chez la vigne. Bulletin de la Société Botanique de France, 50: 87-100.
- /45/ Keller, M. (2010). The science of grapevines: Anatomy and physiology; Academic Press/Elsevier: Amsterdam Boston. ISBN 978-0-12-374881-2.
- /46/ Kraus, V. (1980). Korelace při tvarování révy ve vztahu k agrotechnickým opatřením. Závěrečná zpráva č. VI-4-3 (VI-1)/1980, VŠZ Brno.
- /47/ Sotolář, R. a Stehlík, M. (2025). Porovnání vitality a výnosu keřů révy s využitím hydrokompostu (Peletsep®). Zahradnictví, 1/2025: 40–44. ISSN 1213-7596.
- /48/ Sotolář, R., Šuldes, J. Novik, A (2025). Porovnání vitality a výnosu keřů révy s využitím biostimulantů Albit, Altera a Alse. Zahradnictví, 6/2025.
- /50/ Nováková L., Douša M. (2013). Moderní HPLC separace v teorii a praxi I. a II., Praha. https://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/C8102/um/HPLC_spec_metody.pdf
- /51/ Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., & Hniličková, H. (2010). The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? *Photosynthetica*, 48(4), 545-558.
- /52/ Kuklová, M., Hniličková, H., Hnilička, F., Pivková, I., & Kukla, J. (2019). Impact of expressway on physiology of plants and accumulation of risk elements in forest ecosystems. Plant, Soil and Environment, 65(1), 46-53.
- /53/ Smart, R.E., Robinson, M. (1991): *Sunlight into Wine: A Handbook for Winegrape Canopy Management*. Winetitles, Adelaide.
- /54/ Baker, N. R. (2008): *Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo*. Annual Review of Plant Biology, 59: 89–113.

- /55/ Flexas, J., Ribas-Carbó, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J., Medrano, H. (2008): Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant Cell Environ*, 31(5):602-21. doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01757.x.
- /56/ Lovisolo, C., Perrone, I., Carra, A. Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., Schubert, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Functional Plant Biology*, 37(2), 98-116. doi:10.1071/FP09191.
- /57/ Ribéreau-Gayon, P., Branco, J.M. (2006). *Handbook of enology: The chemistry of wine stabilization and treatments*. Chichester. ISBN 97804700103962.
- /58/ Verdenal, T., Dienes-Nagy, A., Spangenberg, J.E., Zufferey, V., Spring, J-L., Viret, O., Marin-Carbonne, J., van Leeuwen, C. 2021. Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: a review. *OENO One*, 55, 1. doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866.
- /59/ Khadatkhar, A., Sawant, CH.P., Thorat, D., Gupta, A., Jadhav, S., Gawande, D., Magar, A.P. (2025). A comprehensive review on grapes (*Vitis* spp.) cultivation and its crop management: a review. *Discover Agriculture (Springer)*, 2025, 3:9, doi.org/10.1007/s44279-025-00162-2.
- /60/ Němec, B., Prát, S., Kořínek, J. (1945). *Učebnice anatomie a fyziologie rostlin pro farmaceuty a přírodopisce*, Melantrich Praha.
- /61/ Šebánek, J., Grégl, L., Javor, A., Švihla, J., Kupka, J., Procházka, S. (1983). *Fyziologie rostlin*, SZN Praha.
- /62/ Aazami, A.M., Asghari-Aruq, M., Hassanpouraghdam, M.B., Ercisli, S., Baroň, M., Sochor, J. (2021): Low temperature stress mediates the antioxidants pool and chlorophyll fluorescence in *Vitis vinifera* L. cultivars. *Plants (Basel)*, 10(9):1877. doi: 10.3390/plants10091877.
- /63/ Gently, B., Briantais, J.M., Baker, N.R. (1989): The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta* 990:87–92.
- /64/ Wang, Y.J., Yang, Y.Z., Zhang, J.X., Pan, X.J., Wan, Y.Z. (2004): Preliminary identification of drought resistance of Chinese wild *Vitis* species and its interspecific hybrids. *Acta Horticulturae Sinica*, 6:1-4.
- /65/ Wooldridge, J., Louw, P.E., Conradie, W. J. (2016): Effects of rootstock on grapevine performance, petiole and must composition, and overall wine score of *Vitis vinifera* cv. Chardonnay and Pinot noir. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 31(1): 45-48.
- /66/ Kraus, V., Hubáček, V., Ackermann, P. (2004). *Rukověť vinaře. Květ Praha*. ISBN 80-209-0327-5.
- /67/ Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 71(16), 4658-4676.

Poděkování

Studie vznikla za podpory projektu MZe ČR NAZV - Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi (číslo projektu: QK21010189).

Sponzoři


Půda


Voda


Rostliny


Meteorologie


Sedimenty


Geotechnika

EkoTechnika



Ekotechnika spol. s r.o. byla založena v roce 1997.

Nabízíme vzorkovací a měřicí přístroje pro pedologii, geologii, hydrogeologii, hydrologii, meteorologii, geotechniku, výzkum rostlin a diagnostiku životního prostředí.

Našimi zákazníky jsou vědecké instituce, vysoké a střední školy, sanační společnosti, inženýrství geologové, hydrogeologové, státní instituce.

Dodávané přístroje jsou vyráběny předními světovými výrobci ADC Bioscientific Ltd., Delta-T Devices Ltd. a dalšími, které výhradně zastupujeme v ČR a SR.

Vyvíjíme také vlastní přístroje a měřicí zařízení.







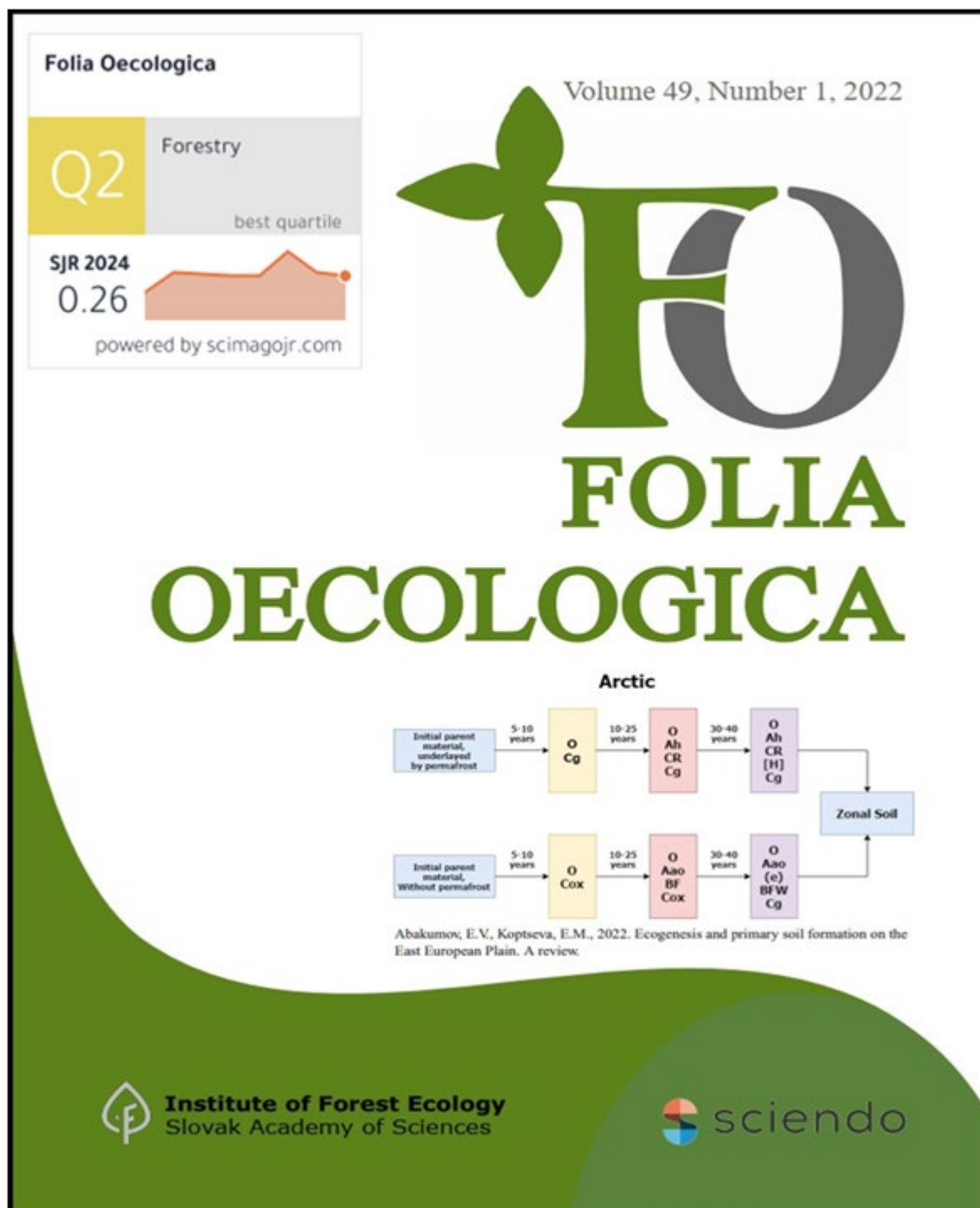

www.ekotechnika.cz

Mgr. Tomáš Havel / havel@ekotechnika.cz / +420 602 243 447

MEDIÁLNÍ PARTNEŘI



Folia Oecologica publishes original research on forest ecology science. While the emphasis is on forest ecosystems, the journal covers a wide range of topics from the underlying biology to the conservation aspects of forest and nature. The Journal publishes full-text papers, short communications and review articles. *Folia Oecologica* is indexed in Scopus™, Web of Science and other databases. <https://ife.sk/research/edited-journals/fofia-oecologica/>



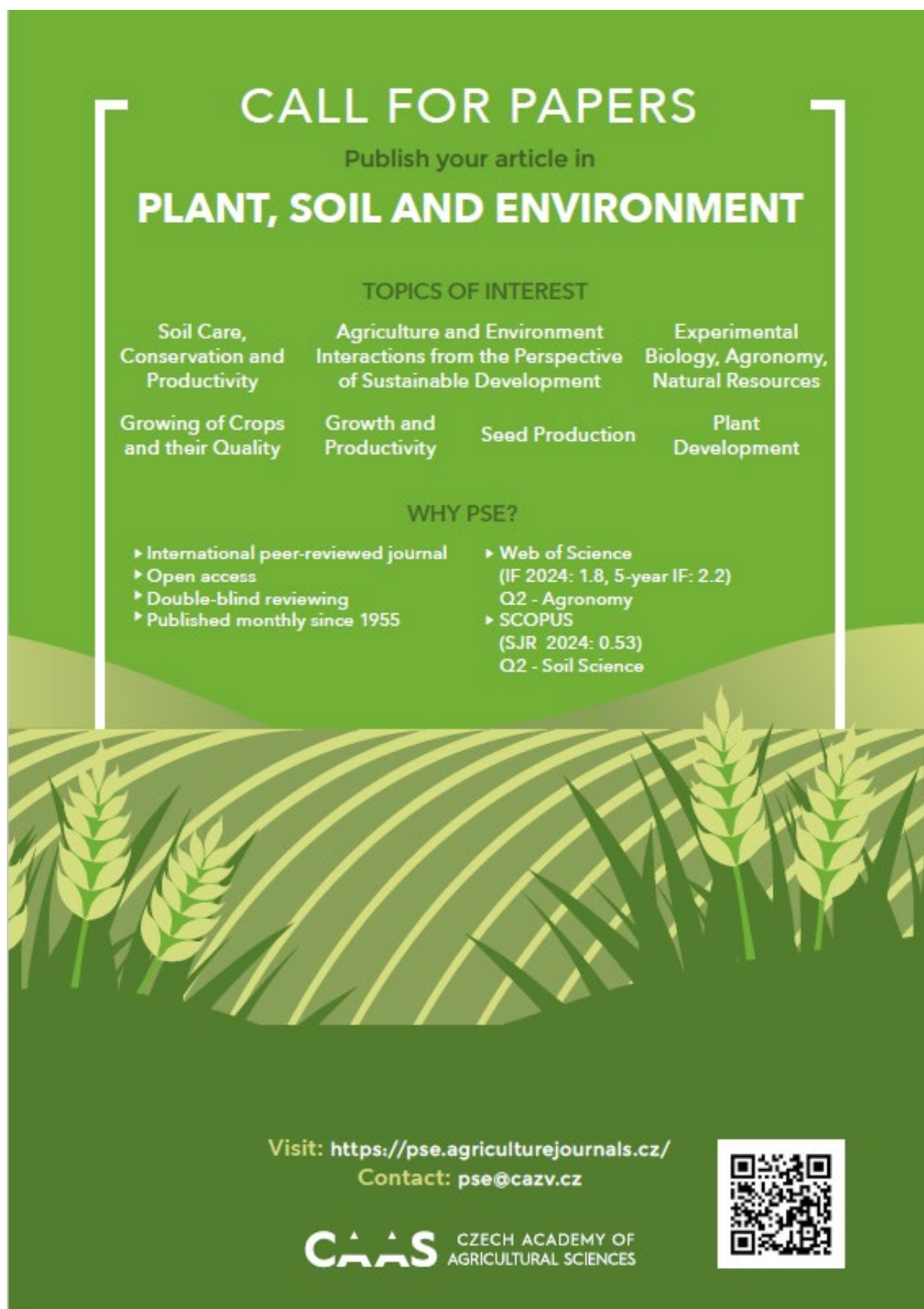
CZAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

PLANT, SOIL AND ENVIRONMENT



Prague

(On-line) ISSN 1805-9368
(Print) ISSN 1214-1178



CALL FOR PAPERS

Publish your article in

PLANT, SOIL AND ENVIRONMENT

TOPICS OF INTEREST

Soil Care, Conservation and Productivity	Agriculture and Environment Interactions from the Perspective of Sustainable Development	Experimental Biology, Agronomy, Natural Resources
Growing of Crops and their Quality	Growth and Productivity	Seed Production
		Plant Development

WHY PSE?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published monthly since 1955
- ▶ Web of Science
(IF 2024: 1.8, 5-year IF: 2.2)
Q2 - Agronomy
- ▶ SCOPUS
(SJR 2024: 0.53)
Q2 - Soil Science

Visit: <https://pse.agriculturejournals.cz/>
Contact: pse@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

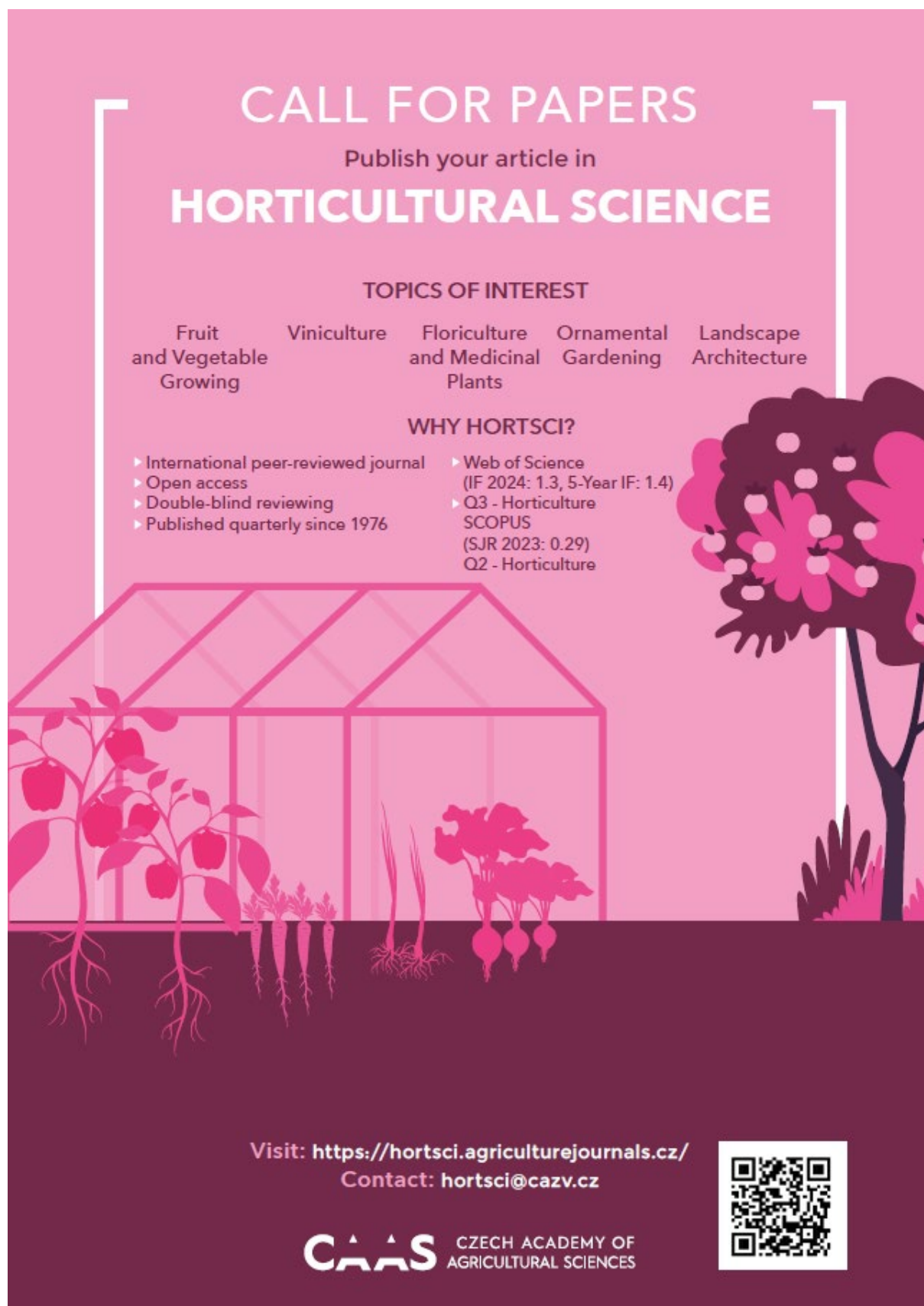


CAAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

HORTICULTURAL SCIENCE

Prague

(On-line) ISSN 1805-9333
(Print) ISSN 0862-867X



CALL FOR PAPERS

Publish your article in

HORTICULTURAL SCIENCE

TOPICS OF INTEREST

Fruit and Vegetable Growing	Viniculture	Floriculture and Medicinal Plants	Ornamental Gardening	Landscape Architecture

WHY HORTSCI?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published quarterly since 1976
- ▶ Web of Science (IF 2024: 1.3, 5-Year IF: 1.4)
- ▶ Q3 - Horticulture SCOPUS (SJR 2023: 0.29)
- ▶ Q2 - Horticulture

Visit: <https://hortsci.agriculturejournals.cz/>
Contact: hortsci@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES



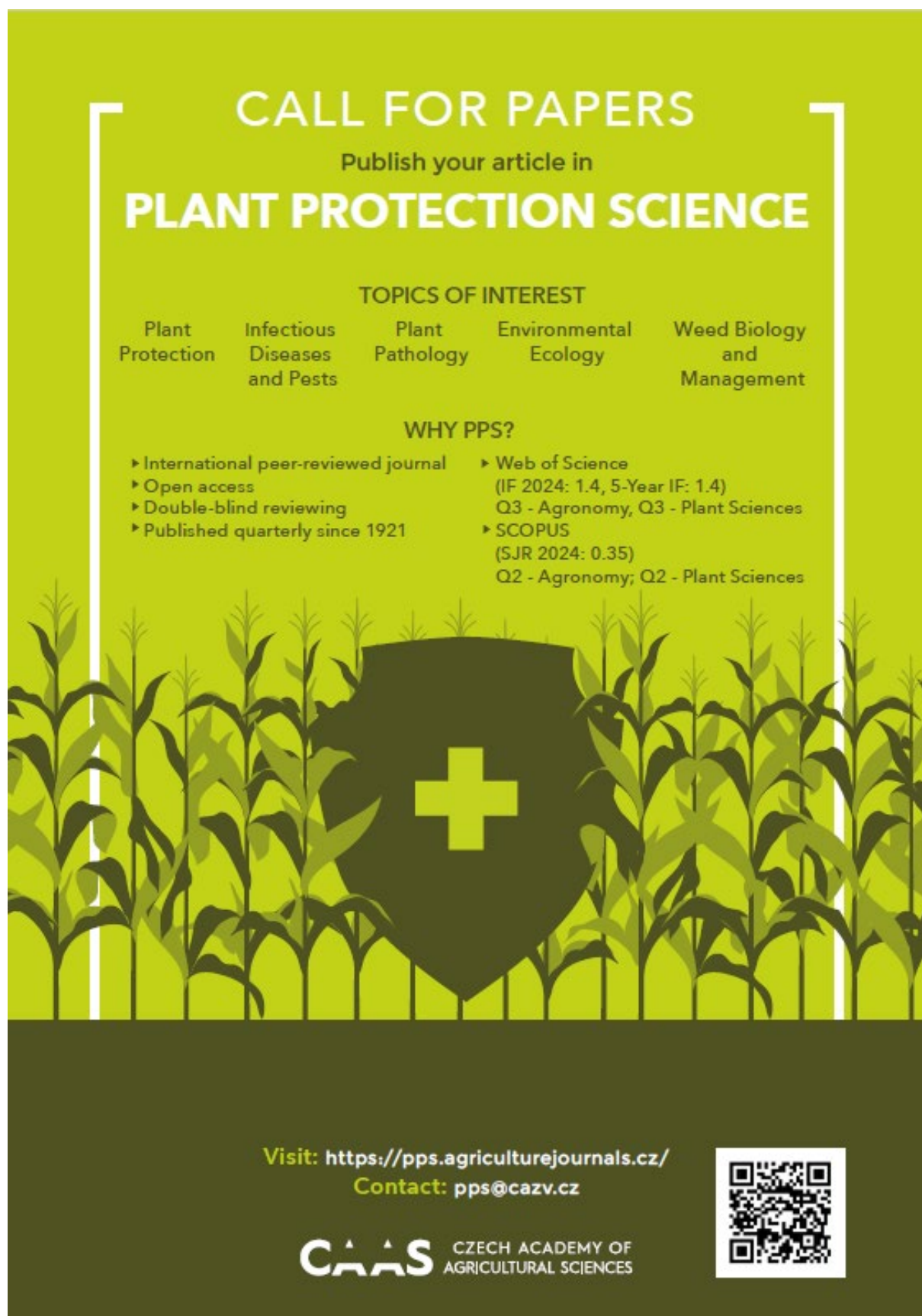
CAAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

PLANT PROTECTION SCIENCE



Prague

(On-line) ISSN 1805-9341
(Print) ISSN 1212-2580



CALL FOR PAPERS

Publish your article in

PLANT PROTECTION SCIENCE

TOPICS OF INTEREST

Plant Protection	Infectious Diseases and Pests	Plant Pathology	Environmental Ecology	Weed Biology and Management

WHY PPS?

▶ International peer-reviewed journal	▶ Web of Science
▶ Open access	(IF 2024: 1.4, 5-Year IF: 1.4)
▶ Double-blind reviewing	Q3 - Agronomy, Q3 - Plant Sciences
▶ Published quarterly since 1921	▶ SCOPUS
	(SJR 2024: 0.35)
	Q2 - Agronomy; Q2 - Plant Sciences

Visit: <https://pps.agriculturejournals.cz/>
Contact: pps@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES



CAAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

CZECH JOURNAL OF GENETICS AND PLANT BREEDING



Prague

(On-line) ISSN 1805-9325
(Print) ISSN 1212-1975

CALL FOR PAPERS

Publish your article in

**CZECH JOURNAL OF GENETICS
AND PLANT BREEDING**

TOPICS OF INTEREST

Theoretical and Applied Plant Genetics Plant Biotechnology Plant Breeding

WHY CJGPB?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published quarterly since 1965
- ▶ Web of Science (IF 2024: 1.8, 5-year IF: 1.3)
Q2 - Agronomy, Q2 - Plant Sciences
- ▶ SCOPUS (SJR 2024: 0.4)
Q2 - Plant Science



Visit: <https://cjgpb.agriculturejournals.cz/>
Contact: cjgpb@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES





CALL FOR PAPERS
Publish your article in
JOURNAL OF FOREST SCIENCE

TOPICS OF INTEREST

Forest and Forest Ecology Wood Processing Genetics and Physiology of Forest Trees Wildlife Management Forest Economics

WHY JFS?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published monthly since 1955
- ▶ Web of Science (IF 2024: 1.1, 5-year IF: 1.2) Q3 - Forestry
- ▶ SCOPUS (SJR 2024: 0.33) Q2 - Forestry

IMPACT FACTOR
Web of Science
1.1

Visit: <https://jfs.agriculturejournals.cz/>
Contact: jfs@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES

Název: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2025

Editor: František Hnilička

Vydavatel: Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied, v.v.i.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Odborní recenzenti: Mgr. Jana Šlégrová

Tisk: online

Počet stran: 417

Vydání: první

Rok vydání: 2025

ISBN: 978 – 80 – 89408 – 39 – 9 Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied,
v.v.i.

Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou