

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied

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



VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2014

(Recenzovaný sborník příspěvků)

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC STRESSES
ON PROPERTIES OF PLANTS 2014**
(Proceedings)



Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied
10. – 11. 9. 2014

Česká zemědělská univerzita v Praze

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied

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

Pořadatelé:

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied

**VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH
STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2014**

(Recenzovaný sborník příspěvků)

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied

10. – 11. 9. 2014

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 Agrobiolology, Food and Natural Resources

Institute of Forest Ecology SAS

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC
STRESSES ON PROPERTIES OF PLANTS 2014**

(Proceedings)

This publication has not undergone language editing

Institute of Forest Ecology SAS

10. – 11. September 2014

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

© **Redaktorské úpravy:** Ing. Katarína Sládeková

© **Anglické úpravy:** Mgr. Ivica Kováčová, PhD.

Jazyková korektura: Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou

Foto na titulní straně: Sekundární stresor je oheň, Vysoké Tatry.

foto Ing. Ján Kukla, CSc.

Odborný garant konference: Jozef Váľka (ÚEL SAV)

Margita Kuklová (ÚEL SAV)

František Hnilička (ČZU v Praze)

Odborní recenzenti: *doc. RNDr. Jan Novák, DrSc.*

Ing. Zuzana Šlégrová

Organizační výbor konference:

RNDr. Ľubica Ditmarová, PhD. (ÚEL SAV)

Ing. František Hnilička, Ph.D. (ČZU v Praze)

Ing. Helena Hniličková, Ph.D. (ČZU v Praze)

Ing. Ján Kukla, CSc. (ÚEL SAV)

Ing. Margita Kuklová, CSc. (ÚEL SAV)

Organizovanie konferencie bolo čiastočne podporované Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-0111-10 a APVV-0436-10.

© Česká zemědělská univerzita v Praze, 2014

ISBN: 978-80-213-2475-6

© Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, 2014

ISBN: 978-800-89408-17-7

OBSAH

<i>Válka J.</i>	Predslov	.....	1
<i>Škvarenina J.</i>	Vplyv extrémnych meteorologických situácií na lesné ekosystémy	.....	2
<i>Kmet' J., Kurjak D.</i>	Odozva lesných drevín na environmentálne stresy: Od semenáčikov po dospelé stromy	.....	13
<i>Macků J.</i>	Vliv klimatických stresových faktorů na posun lesních vegetačních stupňů	.....	19
<i>Kontriš J., Kontrišová O., Ollerová H., Zacharová A.</i>	Zmeny dĺžky dňa a teploty vzduchu v zimnom období rokov 1987 - 2012	.....	23
<i>Šerá B., Gajdová I., Nováková M.</i>	Příspěvek k mapování plasticity u jehřátky kuří nohy (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.B.) v solí kontaminované půdě	.....	29
<i>Frydrych J., Volková P., Cagaš B., Kolařík P., Rotrekl J., Barták M.</i>	Vliv různých způsobů hospodaření na půdě na biotickou diverzitu hmyzu v travních a jetelových porostech	.....	35
<i>Masarovičová E., Malovcová L., Sekerková M., Babulicová M.</i>	Repka olejka a abiotické faktory prostředí z aspektu fyziologa a pestovatele	.....	42
<i>Gloser V.</i>	Role dálkových signálů v reakci rostlin na sucho	.....	48
<i>Klimešová J., Středa T.</i>	Vodní potenciál půdy – pohled zemědělců a šlechtitelů	.....	52
<i>Heřmanská A., Bláha L., Hromádka M.</i>	Elektrická kapacita kořenů – perspektivní selekční kritérium	.....	59
<i>Kožnarová V., Hájková L.</i>	Problematika a prognózy meteorologických a fenologických pozorování	.....	65
<i>Krpeš V., Michna K.</i>	Působení oxidačního stresu na smrku ztepilém	.....	71
<i>Juhásová G., Kobza M., Juhás D., Ostrovský R.</i>	Zníženie nepriaznivého vplyvu abiotických a biotických škodlivých činiteľov na dreviny vo verejnej zeleni	.....	78
<i>Ferus P., Bartáková M., Bošiaková D., Konôpková J.</i>	Stimuluje endofytická huba <i>Beauveria bassiana</i> (BALS.-CRIV.) VUILL. suchovzdornost u ašerky bieleho (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)?	.....	83
<i>Majerová J., Ditmarová L., Kurjak D., Pšidová E., Jankuvová J.</i>	Fotosyntetická aktivita u kontaminovaných rastných proveniencií semenáčikov smreka (<i>Picea abies</i> [L.] KARST.) v podmienkach vodného deficitu a procesu „recovery“	.....	88
<i>Kormuťák A., Boleček P., Galgóczi M., Volková B., Gömöry D.</i>	Sezonná dynamika aktivity antioxidantních enzymů v medzidruhových hybridov jehle bielej (<i>Abies alba</i> MILL.)	.....	93
<i>Opálková M., Navrátil M., Špunda V.</i>	Komplexní přístup k měření radiačního prostředí v městské aglomeraci	.....	97
<i>Molnárová M., Fargašová A.</i>	Vplyv abiotických faktorov (Se a Cd) na <i>Sinapis alba</i> L.	.....	101

<i>Kuklová M., Hniličková H., Kukla J., Hnilička F.</i>	Akumulácia C, N, S vo vrchnej vrstve pôdy výškového transektu a v listoch buka	.....	105
<i>Paganová V., Jureková Z.</i>	Metodika hodnotenia koreňového systému drevín v juvenilnej fázi rastu s oftwarem WinRhizo	.....	110
<i>Bahnová K., Rózová Z.</i>	Mikroklima sídliska Chrenová 1 v Nitre	.....	116
<i>Bolvanský M., Pažitný J.</i>	Vplyv medziročného kolísania teploty vzduchu a zrážok na vybrané morfológické znaky plodov pri jedincoch gaštanu rôzneho taxonomického pôvodu	.....	120
<i>Fiala R., Čiamporová M., Repka V., Martinka M., Pavlovkin J.</i>	Včasný účinok Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} a Cu^{2+} na transmembránový potenciál rizodermálnych buniek dvoch druhov <i>Thlaspi</i> s odlišnou toleranciou ťažkých kovov	.....	125
<i>Fialová I., Vaculíková M., Šimková L., Luxová M.</i>	Vplyv zinku a kadmia na aktivitu antioxidantných enzýmů v mladých rastlinách <i>Zea mays</i> L. v podmienkach zasolenia	.....	129
<i>Gregorová Z., Maglovski M., Mézsáros P., Kuna R., Hauptvogel P., Matušiková I.</i>	Vplyv sucha na obsah prolínu a fotosyntetických pigmentov v pšenici	.....	133
<i>Haberle J., Svoboda P.</i>	Návrh postupu výpočtu zásoby vody v kořenové zóně plodín v provozních podmínkách	.....	137
<i>Ivanová H.</i>	<i>Acer palmatum</i> a <i>Atropurpureum</i> a <i>Pinus nigra</i> poškodené mikroskopickou hubou <i>Coniochaeta prunicola</i>	.....	141
<i>Jelínková I., Havlíčková L., Chikkaputtaiah Ch., Čurn V.</i>	Studium exprese genů spojených se stresem suchem u řepky	.....	145
<i>Dostálková A., Kobetičová K.</i>	Efekty nanoželeza na růst lokiky seté (<i>Lactuca sativa</i>) a na mikrobiální oživení půdy	.....	148
<i>Kohanová J.</i>	Vývin adventívnych koreňov kompozitnej kukurice <i>Zea mays</i> L. po aplikácii kadmia	.....	151
<i>Zezulka Š., Kummerová M., Babula P.</i>	Růst, biochemické a fyziologické změny u <i>Lemna minor</i> vlivem diklofenaku	.....	155
<i>Lang J.</i>	Výnosy jetelovinotravních směsí pěstovaných na orné půdě ve srážkově rozdílných letech	.....	159
<i>Lošák M.</i>	Produkční vlastnosti genetických zdrojů jílku v ytrvalého (<i>Lolium perenne</i> L.) ve vztahu k vlivu ročníku	.....	163
<i>Mayerová M., Stehlíková I., Madaras M.</i>	Srovnání vybraných čínských a českých genotypů pšenice ozimé v podmínkách stresu suchem	.....	168
<i>Mayerová M.</i>	Vliv herbicidního ošetření v dlouhodobém polním pokusu	.....	173
<i>Mézsáros P., Kuna R., Matušiková I.</i>	Vplyv iónov kadmia, niklu a zinku na vybrané ukazovatele rastlinného stresu	.....	177

	v koreňoch kukurice	
Molnárová M., Fargašová A.	Výhody testovania fytotoxického účinku kovov vo vertikálnych plastových kontajneroch Phytotoxkit v porovnaní s Petriho miskami	182
Pauková Ž., Jureková Z.	Charakteristiky prídychov v pokožke listov <i>Miscanthus sinensis</i> pestovaného v environmentálnych podmienkach juhozápadného Slovenska	186
Peško M., Molnárová M.	Reakcia rastlín repky olejky (cv. Viking) na stres indukovaný iónmi Hg^{2+}	190
Petrová Š., Soudek P., Vaněk T.	Vliv esenciálních kovů na toxicitu polutantů u rostlin	194
Podlipná R., Mořková K., Konrádová H., Vaněk T.	Vliv těžkých kovů na růst a metabolismus halofytních rostlin	198
Prášil I. T., Holková L., Kosová K., Vítámvás P., Urban M. O., Musilová J., Smutná P.	Kvantitativní exprese chladem regulovaných genů - diagnostický z nástroj pro stanovení mrazuvzdornosti pšenice	203
Salaj T., Kormuťák A., Salaj J.	Somatická embryogenéza jedle bielej (<i>Abies alba</i> Mill.): Indukcia embryogénnych pletív a ich udržovanie metódou kryokonzervácie	207
Svoboda P., Haberle J.	Dostupná zásoba vody v pôde v zvislých vzťahoch k hĺbke a distribúci koreňov vybraných plodín	210
Šerá B., Hájková M.	Testování stimulace klíčení a počátečního růstu přípravků Triosol	214
Šimková L., Fialová I., Sedláková B., Luxová M.	Vplyv zinku na rastové a fyziologické parametre rastlín kukurice siatej (<i>Zea mays</i> L.) v podmienkach zasolenia	218
Zemanová V., Kyjáková P., Pavlíková D., Najmanová J.	Změny obsahu nasycených a nenasycených mastných kyselín v ekotypoch rostlin rodu <i>Noccaea</i> rostoucích na půdě kontaminované kadmíem	222
Boleček P., Gogoláková A., Piršelová B.	Vplyv vybraných ťažkých kovov na fluorescenciu chlorofylu jačmeňa siateho (<i>Hordeum vulgare</i> cv. Orbit)	226
Candráková E.	Stresové faktory pri pestovaní jačmeňa siateho jarného	230
Fargašová A.	Kovy jako stresový faktor při hodnotení fytotoxicity	235
Hniličková H., Kuklová M., Hnilička F., Kukla J.	Změny rychlosti výměny plynů buku lesního v závislosti na nadmořské výšce	239
Hnilička F., Kukla J., Hniličková H., Kuklová M., Šrůtková P.	Vliv faktorů vnějšího prostředí na poškození listové plochy vybraných listnatých dřevin	243
Janík R., Schieber B., Kubov M., Šimková I.	Vplyv intenzity hospodárskeho zásahu na produkčný potenciál druhu <i>Carex pilosa</i> (Scop.) v podhorských bučinách	247
Kellerová D., Janík R.	Analýza voľného ozónu v podmienkach	251

<i>Kuna R ., Karlová L ., Piršelová B.</i>	vidieckeho prostredia Západných Karpát Testovanie tolerance koreňov bôbu obyčajného na ióny kadmia v závislosti o d aniónovej zložky aplikovaného roztoku	.....	255
<i>Piršelová B., Kuna R.</i>	Vplyv kadmia na translokáciu železa v pletivách bôbu obyčajného (<i>Vicia faba</i> cv. Aštar)	.....	259
<i>Středová H., Středa T., Chuchma F.</i>	Vývoj a agroklimatických podmínek v České republike	.....	263
<i>Svobodová M ., Kosínková M.</i>	Vliv zastínění na vývin porostu vybraných odrůd jílku vytrvalého	.....	267
<i>Pástorová A ., Kurjak D ., Leštianská A ., Majerová J ., Pšidová E ., Macková M., Střelcová K.</i>	Vplyv sucha 2013 na prírastok a v ybrané fyziologické procesy proveniencií smreka v arboréte Borová Hora	.....	271
<i>Majdák A ., Blaženec M., Gondová M., Jakuš R.</i>	Teplotné reakcie smreka obyčajného na porastovej s tene a v poraste v závislosti od slnenej radiácie a teploty vzduchu	.....	275

Seznam účastníků

B

Babula P. - 155
Babulicová M. - 42
Bahnová K. - 116
Barta M. - 83
Barták M. - 35
Bláha L. - 59
Blaženec M. - 275
Boleček P. - 93, 226
Bolvanský M. - 120
Bošiaková D. - 83

C

Cagaš B. - 35
Candráková E. - 230

Č

Čiamporová M. - 125
Čurn V. - 145

D

Ditmarová L. - 88
Dostálková A. - 148

F

Fargašová A. - 101, 182, 235
Ferus P. - 83
Fiala R. - 125
Fialová I. - 129, 218
Frydrych J. - 35

G

Gajdová I. - 29
Galgóci M. - 93
Gloser V. - 48
Gogoláková A. - 226
Gömöry D. - 93
Gondová M. - 275
Gregorová Z. - 133

H

Haberle J. - 137, 210
Hájková L. - 65
Hájková M. - 214
Hauptvogel P. - 133

Havlíčková L. - 145
Heřmanská A. - 59
Hnilička F. - 105, 239, 243
Hniličková H. - 105, 239, 243
Holková L. - 203
Hromádko M. - 59

Ch

Chikkaputtaiah Ch. - 145
Chuchma F. - 263

I

Ivanová H. - 141

J

Jakuš R. - 275
Janík R. - 247, 251
Jankuvová J. - 88
Jelínková I. - 145
Juhás D. - 78
Juhásová G. - 78
Jureková Z. - 110, 186

K

Karlová L. - 255
Kellerová D. - 251
Klimešová J. - 52
Kmeť J. - 13
Kobetičová K. - 148
Kobza M. - 78
Kohanová J. - 151
Kolařík P. - 35
Konôpková J. - 83
Konrádová H. - 198
Kontriš J. - 23
Kontrišová O. - 23
Kormuťák A. - 93, 207
Kosinková M. - 267
Kosová K. - 203
Kožnarová V. - 65
Krpeš V. - 71
Kubov M. - 247
Kukla J. - 105, 239, 243
Kuklová M. - 105, 239, 243
Kummerová M. - 155
Kuna R. - 133, 177, 255, 259

Kurjak D. - 13, 88, 271
Kyjáková P. - 222

L

Lang J. – 159
Leštianská A. - 271
Lošák M. -163
Luxová M. - 129, 218

M

Macková M. - 271
Macků J. - 19
Madaras M. - 168
Maglovski M. – 133
Majdák A. - 275
Majerová J. - 88, 271
Malovcová E. - 42
Martinka M. - 125
Masarovičová E. - 42
Matušiková I. - 133, 177
Mayerová M. - 168, 173
Mészáros P. - 133, 177
Michna K. - 71
Molnárová M. - 101, 182, 190
Motřková K. - 198
Musilová J. - 203

N

Najmanová J. - 222
Navrátil M. - 97
Nováková M. - 29

O

Ollerová H. - 23
Opálková M. - 97
Ostrovský R. - 78

P

Paganová V. - 110
Pástorová A. - 271
Pauková Ž. - 186
Pavlíková D. - 222
Pavlovkin J. - 125
Pažitný J. - 120
Peško M. - 190
Petrová Š. - 194
Piršelová B. - 226, 255, 259
Podlipná R. - 198

Prášil I. T. - 203
Pšidová E. – 88, 271

R

Repka V. - 125
Rotrekl J. - 35
Rózová Z. - 116

S

Salaj J. - 207
Salaj T. - 207
Sedláková B. - 218
Sekerková M. - 42
Schieber B. - 247
Smutná P. - 203
Soudek P. - 194
Stehlíková I. - 168
Středa T. - 52, 263
Středová H. – 263
Střelcová K. - 271
Svoboda P. - 137, 210
Svobodová M. - 267

Š

Šerá B. - 29, 214
Šimková I. - 247
Šimková L. - 129, 218
Škvarenina J. - 2
Špunda V. - 97
Šrůtková P. - 243

U

Urban M. O. - 203

V

Vaculíková M. - 129
Válka J. - 1
Vaněk T. - 194, 198
Vítámvás P. - 203
Volková P. - 35
Vooková B. - 93

Z

Zacharová A. - 23
Zemanová V. - 222
Zezulka Š. - 155

Predslov

Rastliny sú počas svojho životného cyklu vystavené meniacim sa podmienkam prostredia, ktoré môžu nadobúdať nepriaznivý až stresový charakter. Stres v každej forme predstavuje tlak na živé organizmy. Negatívne pôsobenie najmä faktorov prostredia vyvoláva v rastlinách sériu zmien na molekulárnej, biochemickej a fyziologickej úrovni. V súčasnosti sa široká vedecká komunita zaoberá otázkami stresovej fyziológie rastlín a mechanizmami ich adaptácie na zmeny vyvolané stresormi. Dlhoročné skúsenosti popredných univerzitných a akademických pracovníkov v rámci Českej a Slovenskej republiky pri riešení uvedenej problematiky prirodzene vyústili do potreby stretávať sa, vymieňať si skúsenosti a prehľbovať poznatky v danej oblasti prostredníctvom organizovania pravidelných konferencií. Prvýkrát sa k organizácii podujatia pripojil Ústav ekológie lesa SAV vo Zvolene, na pôde ktorého sa koná už v poradí 14. ročník konferencie „Vplyv abiotických a biotických stresorov na vlastnosti rastlín“. V spolupráci so Zemědělskou univerzitou v Praze sa podieľame na realizácii tejto publikácie, ktorá by mala najmä v vedeckej a odbornej verejnosti poskytnúť aktuálny prehľad diania v oblasti stresovej fyziológie rastlín v rámci česko-slovenského výskumného priestoru. Jednou z ambícií zborníka a workshopu organizovaného v rámci konferencie je detailnejšie sa zamerať na problematiku hodnotenia vplyvu stresov na rastliny – chyby v pokusníctve, nakoľko práve dokonalé zvládnutie experimentov je kľúčovým predpokladom pre získanie kvalitných dát v danej oblasti výskumu.

Zvolen, september 2014

Ing. Jozef Váľka, PhD.
ÚEL SAV Zvolen

VPLYV EXTRÉMNYCH METEOROLOGICKÝCH SITUÁCIÍ NA LESNÉ EKOSYSTÉMY

INFLUENCE OF EXTREME METEOROLOGICAL SITUATION ON FOREST ECOSYSTEMS

Jaroslav Škvarenina

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra prírodného prostredia, Masarykova 24,
960 53 Zvolen, Slovenská republika, tel.: +421 45 5206 209; e-mail: skvarenina@tuzvo.sk

Summary

Natural forest conditions of Slovakia Republic are characterized by global environmental change from the end of 20th century. By many specialists, the increasing number and degree of the natural hazards and disasters as temperature extremes, risk of frost, drought, forest fires, heavy precipitation, hail, floods, landslides and block falls, avalanches, winter storms, air pollution, wind throw, outbreak of the bark beetle (*Ips typographus*) is unmistakable indication of the human stored up global climate change.

Key words: climate change, emissions, air pollution, natural hazards, wind, drought, heavy precipitation, outbreak of the bark beetle, unregulated felling

Súhrn

Prírodné podmienky lesov SR od konca 20. storočia sa vyznačujú globálnymi zmenami prostredia. Na pozadí vysokej a nadlimitnej imisnej záťaže koncom 80-tych rokov minulého storočia sme sa stali svedkami nastupujúcej globálnej zmeny klímy. Rastúce prírodné riziká a katastrofy, ako napríklad: teplotné extrémny, riziko skorých a neskorých mrazov, sucho, lesné požiare, privalové lejaky, krupobitie – ľadovec, povodne, zosuvy pôdy a jej erózia, lavíny, zimné búrky, ale aj imisné, v eterné kalamity a kalamity p odkôrneho hmyzu, sú podľa mnohých vedcov neklamnými znakmi človekom podmienenej globálnej zmeny klímy.

Kľúčové slova: zmena klímy, imisie, znečistenie ovzdušia, prírodné riziká, vietor, sucho, privalové dažde, hmyzia kalamita, náhodné ťažby

ÚVOD

Stav európskych (severoamerických) lesných ekosystémov cca od 70-tych rokov minulého storočia vykazuje systematické, resp. náhodné znaky hromadného poškodzovania, dokonca v niektorých oblastiach až hromadného hynutia. Táto deteriorizácia je vysvetľovaná veľkým počtom teórií a hypotéz, často protichodných, no vo väčšine prípadov môžeme ako spoločného menovateľa označiť človeka a jeho neprimeranú a neustále rastúcu spotrebu. Stav lesov, lesného hospodárstva ale hlavne lesných ekosystémov nie je možné oddeliť od stavu ostatných zložiek životného prostredia, a preto musíme na ekosystémovej úrovni hovoriť o poškodzovaní, hynutí a deteriorizácii stredo európskych ekosystémov ako takých.

Na úvod by sme mali poukázať na istý historický vývoj stavu lesov a ekosystémov v Európe, tak aby sa odhalili príčiny antropicky podmieneného zhoršovania stavu životného prostredia. Prvé zmienky o dymových škodách sa objavujú z Nemecka, Čiech, Slovenska a iných bansko-ťažobných regiónov Európy. Postupne s nárastom výroby a priemyslu, ako aj

so z vyšováním výšky továrenských komínov sa znečisťovanie ovzdušia z lokálnej úroveň rozrastá do planétarnej úroveň a dnes už môžeme hovoriť o tzv. troch kategóriách znečisťovania ovzdušia: lokálne, regionálne a globálne.

Na pozadí rozsiahlych veľkoplošných imisných škôd európskych a severoamerických lesov (Waldsterben, Forest decline, Acid Rain...) sa v 90tych rokoch minulého storočia objavuje nový fenomén, ktorým je človekom vyvolaná klimatická zmena. Samotná problematika zmien klímy nie je nová, a však jej dôležitosť a aktuálnosť bola (a žiaľ aj je) zľahčovaná a bagatelizovaná. Jedným z prvých vedeckých zdôvodnení bola a publikácia Mikhaïla Ivanoviča Budyka Teplovaja balans zemskoj poverchnosti vydaná už v roku 1956. Podobne aj v USA prichádzajú vedci s teóriou vplyvu CO₂ na klimatický systém (Charles David Keeling a Roger Revelle) a tzv. „Keelingová krivka“ (Keeling curve) od medzinárodného geofyzikálneho roku 1958 dokladuje rastúci trend koncentrácií CO₂. Podobne ako Kyslé dažde a Waldsterben aj Global Climate Change sa od vedeckej úrovne poznávania, cez popularizáciu dostali až do svetovej či národnej politiky (Hnutia Zelený, Die Grünen, Al Gore a iní...).

Dnešný stav poznania dáva vedcom možnosť odfiltrovať z vyššie menovaných globálnych environmentálnych problémov popularizačný balast, ako aj umelé antagonizmy a vnímať ich vecne a vedecky.

Môžeme konštatovať, že dnešný stav lesov, ich degradácie na rozsiahlych plochách, je historicky podmienený aj antropogénnym znečisťovaním atmosféry (či už s priamymi, resp. s nepriamymi účinkami). Ak vychádzame z historických poznatkov lesníckeho klásika prof. Josefa Fanta môžeme konštatovať nasledovné: „od druhej polovice 20. stor. nastali totiž v Európe i inde vo svete značné politické, ekonomické, sociálne a ekologické zmeny“. Tieto nezostali bez vplyvu na lesníctvo a na spôsoby využívania lesa. Fanta [2] uvádza tieto:

- zmena sociálnej situácie v Európe, vplyvajúca zo zvyšovania životnej úrovne obyvateľstva;
- stále sa zväčšujúci rozsah sociálne-ekonomických informácií o využívaní lesa;
- zmeny na európskom a svetovom trhu dreva a na trhu práce v lesníckom sektore;
- klesajúci podiel lesníctva na tvorbe hrubého domáceho produktu;
- zväčšujúci sa rozsah a prehĺbujúca sa kvalita informácií o lese ako o prírodnom zdroji a ekosystéme;
- znečistenie prostredia imisiami a jeho ekologické a ekonomické dopady;
- vzrastajúca úloha lesa ako významného stabilizačného prvku stredoeurópskej kultúrnej krajiny;
- potreba vytvorenia podmienok pre obnovu a trvalé udržanie biologickej rozmanitosti lesa ako refúgia rozmanitosti kultúrnej krajiny;
- nastupujúca klimatická zmena a jej dôsledky pre les, prírodu, krajinu a zdravie obyvateľstva.

FYZIKÁLNA A CHEMICKÁ KLÍMA

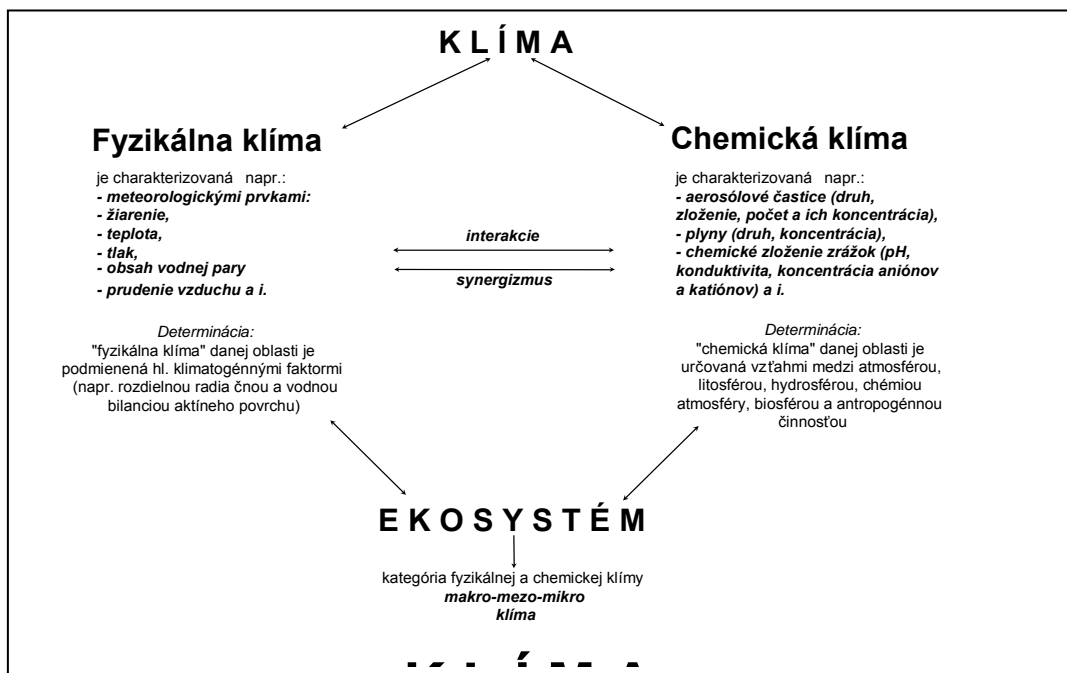
Je prírodné, žes ohľadom na naše profesijné zameranie, ako aj na tematiku konferencie sa zameriame na **antropogénne znečistenie**. Tento relatívne „nový“ bioklimatologický faktor sa stal na rozsiahlych lesných plochách otázkou bytia a nebytia lesných ekosystémov. Okrem **imisnej záťaže** si zvýšenú pozornosť zasluhujú aj „klasické“ bioklimatologické faktory akými sú: rýchlosť prúdenia vzduchu, deficitný, či nadlimitný teplotný a vodný režim atď. Naše pracovisko od 90tych rokov minulého storočia uplatňuje v lesnícko-bioklimatologickom výskume koncepciu synergizmu fyzikálnej a chemickej klímy.

Chemická klíma nie je v zahraničnej terminológii novým pojmom. V literatúre venovanej štúdiu atmosféry sa tento termín častejšie objavuje v 60-tych rokoch hlavne v spojitosti s rýchlym nárastom znečisťovania ovzdušia [1, 18, 15 a i.]. Podobne ako charakterizujeme fyzikálne vlastnosti ovzdušia (napr. teplota, tlak, obsah vodných pár, rýchlosť prúdenia vzduchu a pod.) na rôznych lokalitách „fyzikálnou“ klímou je možné na charakteristiku chemizmu ovzdušia zaviesť pojem „chemická klíma“ (obr.1). Táto chemická stránka klímy je daná rôznymi obsahmi pramenlivých (príp. a j kvázistálych) zložiek atmosféry. Tak ako sa odlišuje klíma (podnebie) od okamžitého stavu ovzdušia (počasie) je aj chemická klíma charakterizovaná priemernými hodnotami chemických parametrov ovzdušia so značnými dennými, sezónnymi i nepravidelnými fluktuáciami.

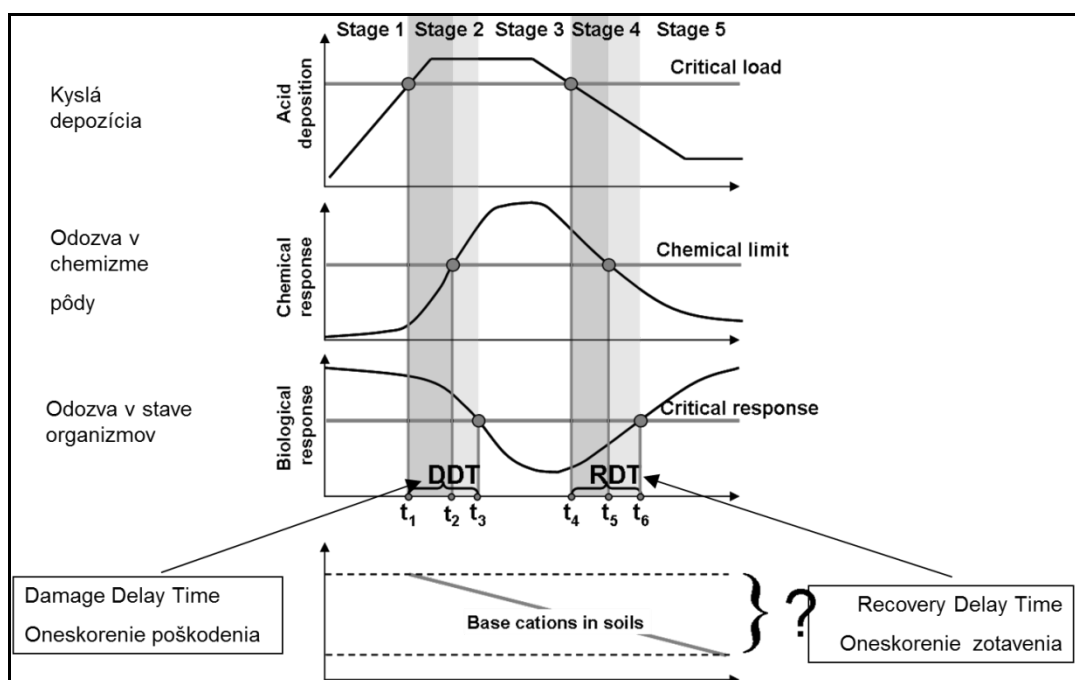
Oproti fyzikálnemu podnebiu, ktoré je určované predovšetkým rozdielnou insoláciou rôznych častí Zeme (ako aj vodnou bilanciou), je chemická klíma determinovaná hlavne látkovými interakciami s litosférou, s hydrosférou, s organizmami, chemickými reakciami v atmosfére, v industriálnej dobe nemalou mierou aj činnosťou človeka. Podobne ako sa fyzikálna klíma hodnotí napr. podľa tlaku, teploty, vlhkosti vzduchu, zrážok, radiácie, (t.j. podľa dlhodobého chodu meteorologických prvkov, resp. javov) je možné chemickú klímu charakterizovať napr. na základe: aerosólových častíc, minoritných plynov (ich koncentrácie a chemického zloženia), ďalej tiež podľa reakcie a chemického zloženia zrážkových vôd (koncentrácia iónov a depozícia elementov).

Bioklimatológia (podľa školy prof. Nováka) predstavuje vedný odbor, ktorého praktickým cieľom je zistiť bioklimatické podmienky prostredia pre existenciu organizmov. Ako hraničná disciplína preto musí obsiahnuť aj „nový“ fyzio-bioklimatický faktor – antropogénne znečisťovanie atmosféry a jeho dôsledky. Flemming a Krečmer [3] poukázali na nutnosť zohľadňovania priestorovej dimenzie pri skúmaní meteorologických dejov (z pohľadu fyziky atmosféry) v konkrétnom krajinnom priestore. U vedení a útorí používajú z hľadiska priestorových rozmerov tieto termíny: makro, mezo a mikroklíma. Chápanie týchto termínov z pohľadu fyzikálnej podstaty atmosférických dejov je v súčasnosti už dobre rozpracované. Dôsledkom prúdenia a transportu znečisťujúcich látok v atmosfére je značná časová aj priestorová variabilita koncentrácií látok v ovzduší.

Túto skutočnosť môžeme charakterizovať ako premenlivosť chemickej klímy a podobne ako je tomu u fyzikálnych parametrov klímy, môžeme v tejto súvislosti hovoriť o chemickej makro, mezo a mikroklíme. Pod chemickou mikroklímou môžeme rozumieť napr. rôzne koncentrácie prímiesí v profile porastu, závislosť chemického zloženia podkorunových zrážok na druhu a parametroch porastu a pod. Chemická mezoklíma môže byť reprezentovaná napr. výskytom smogových udalostí pomedzi odmiernených reliéfom, rôznymi chemickými zloženiami orograficky podmienených hmiel [17]. Chemická makroklíma je najznámejšia a najzornejšie reprezentujú merania pozadových staníc v rámci programu EMEP a slúži k získaniu poznatkov o zmenách a diaľkovom prenose škodlivých prímiesí v rámci veľkých územných celkov. Na základe vyššie uvedených klasifikácií chemickej klímy je potrebné si uvedomiť, že nie je dost' dobre možné vzťahovať merania kvality ovzdušia v súčasnej sieti SHMÚ k poškodeniu konkrétneho porastu, pretože tieto predstavujú rozdielnu úroveň ich geografickej premenlivosti.



Obr. 1: Porovnanie a charakteristika chemickej a fyzikálnej klímy.



Obr. 2: Typický vývoj „past and future“ kyslých atmosférických depozícií v prostredí lesných pôd na časovej osi, znázorňujúci oneskorenie nepriamych imisných účinkov, znázorňuje porušenie kritických chemických kritérií a prekročenie criticalkej biologickej odpovede ekosystému /12/.

Znečisťovanie ovzdušia v strednej E urópe dos iahlo pr iam ka tastrofických r ozmerov. Tejto záťaži padli za obeť desiatky tisíc hektárov lesov, prevažne vo vyšších horských polohách. O d 80t ych r okov s a odum ieranie l esov s talo na jžravejšou t émou e urópskej

environmentálnej pol itiky. Z väčšej časti sa tento problém podarilo zažehnať aj za pomoci sústredeného európskeho úsilia aj v rámci programu PHARE, a to je dnak technologickými opatreniami (napr., odsírenie) ale aj útlmom východoeurópskych výroba ekonomík. Emisie chemických látok od tej doby poklesli asi na 10–15% toho, čo sa produkovalo do ovzdušia v čase maximálnej produkcie polutantov. Nepriame vplyvy ale ostali, cudzorodé chemické látky de ponované do pôdy pôsobia s dlhou zotrvačnou dobou aj po odznení priamych imisných účinkov (Obr. 2).

KLIMATICKÉ ZMENY A STREDOEURÓPSKE LESNÉ SPOLOČENSTVÁ

Klimatické faktory patria k významným činiteľom determinujúcim druhové zloženie lesných ekosystémov (najmä jeho drevinovej zložky) a ako aj ekofyziologické a produkčné procesy s priamou väzbou na celkovú funkčnosť a stabilitu lesných porastov. Z tohto dôvodu ak hovoríme o možných globálnych zmenách atmosféry (klimatické zmeny, zmeny chemického zloženia ovzdušia), nutne musíme uvažovať aj o určitých zmenách v lesných ekosystémoch. Pritom je zrejmé, že na druhové zloženie lesných spoločenstiev majú vplyv predovšetkým zmeny dlhodobého charakteru, kým aktuálny zdravotný stav, fyziologické, produkčné procesy, reagujú aj na zmeny krátkodobé. Preto ak uvažujeme o vplyve globálnych zmien na lesné ekosystémy musíme vždy prihliadať na časovú stránku týchto zmien ako aj na ich intenzitu a premenlivosť /17/.

Pri riešení problémov spojených s globálnymi klimatickými zmenami je potrebné vychádzať najmä zo súčasného stavu našich lesov (zdravotný stav, drevinové zloženie, systém obhospodarovania, celková stabilita lesných ekosystémov), nakoľko tento predurčuje ich schopnosti a možnosti reagovať na ekologické zmeny. Pritom nejde len o samotný fakt klimatických zmien, ale tieto je potrebné vidieť v širšom kontexte vplyvov človeka na atmosféru (narastanie koncentrácií skleníkových plynov, celkové zmeny v chemickom zložení troposféry, redukcia ochrany stratosferickej ozónovej vrstvy a pod.), čo bude mať nepochybne v mnohých prípadoch spolupôsobiacie účinky (či už kladné alebo záporné) na adaptačné procesy v lesných ekosystémoch.

Súčasné predpoklady o globálnych klimatických zmenách, ako aj ich účinkoch na lesné ekosystémy vychádzajú z dnešného stavu poznania. Otvorene treba priznať, že toto poznanie má ešte mnoho nezodpovedaných, ako aj rozporných otázok. Je preto potrebné do riešenia tejto problematiky zapojiť čo najširší okruh odborníkov.

Klíma ako jeden z hlavných stanovištných faktorov ovplyvňuje celú škálu procesov a dejov v lesných ekosystémoch. Je zrejmé, že očakávané zmeny klímy vyvolajú celý rad následných zmien aj v stave a vývoji lesných spoločenstiev.

Najčastejšie uvádzanými faktormi globálnych zmien pôsobiacich na lesné spoločenstvá sú /16/:

- zvyšovanie koncentrácie CO₂,
- zvyšovanie priemernej teploty,
- zmeny v množstve a distribúcii zrážok s následnými zmenami vodnej bilancie,
- zvyšovanie UV-B žiarenia,
- zmeny frekvencie a intenzity extrémnych javov (extrémne teplé alebo chladné periódy, suchá a pod.).

Spolu s týmito faktory pôsobenia g lobálnych zmien vi acerí autori upozorňujú na sprievodné faktory, ktoré môžu mať značný synergický účinok v spojitosti s globálnymi zmenami. Ide najmä o problémy v užívaní krajiny (*land-use*) – zmeny v lesnatosti (odlesňovanie, zalesňovanie) a o pôsobenie antropogénnych polutantov na lesy. V rámci IPCC / 11/ formulovali sa nasledovné základné okruhy potenciálnych dopadov g lobálnych zmien na lesy:

- klimatické zmeny (CO₂, teplota, zrážky) ovplyvnia prírastky celkový rastový proces lesa a môžu zmeniť dĺžku ročnej doby v produkčných lesoch,
- efekty z vyššieho CO₂ budú potlačené spätnými väzbami na ekosystémovej úrovni spojených s kolobehom živín,
- efekt hnojenia CO₂ bude najprv detekovaný na stanovištiach s deficitom vody,
- zvýšené CO₂ ovplyvní rastové procesy hlavne cez efekty na alokáciu uhlíka, čiastočne zvýši produkciu koreňov a zrýchli kolobeh,
- zvýšenie teploty môže zvýšiť rast lesa a jeho rozvoj prostredníctvom z vyššej mineralizácie pôdnej organickej hmoty a rozšírením rastovej sezóny v oblastiach chladnejšej klímy,
- zvýšená intenzita a frekvencia prírodných extrémnych javov (vietor, požiare, premnoženie škodcov), môže kriticky ovplyvniť štruktúru lesov prostredníctvom dopadov na mortalitu stromov a regeneračné procesy.

Problematika prítomnej kvantifikácie odôvodnených lesných ekosystémov na globálne zmeny klímy a chemizmu atmosféry je veľmi obtiažna, čo je dané komplikovanosťou vzájomných vzťahov jednotlivých zložiek lesných ekosystémov a existenciou priamych či spätných väzieb. Ekofyziologickými procesmi lesných drevín (vplyv rastu teploty a koncentrácie CO₂, fotooxidačný stres a rast UV - B radiácie, deficit pôdnej vlhky a i.) v podmienkach klimatickej zmeny v strednej Európe sa zaoberali viacerí autori napríklad aj v monografii Šteflová *et al.* (2009).

V publikácii /21/ zameranej na klimatické zmeny a ňou vyvolané prírodné riziká konštatujeme:

- Podľa IPCC a NKP SR by sa v dôsledku nastupujúcich klimatických zmien mohla zvýšiť frekvencia a rozsah extrémnych prejavov počasia ako sú **silné búrky, horúčavy, suchá, požiare alebo záplavy**. Podľa viacerých klimatických modelov, by mal súčasný vývoj, ktorý je poznamenaný na rastajúcou frekvenciou a dopadom týchto javov vo všeobecnosti, naďalej pretrvávajú (Obr. 3 až 6).

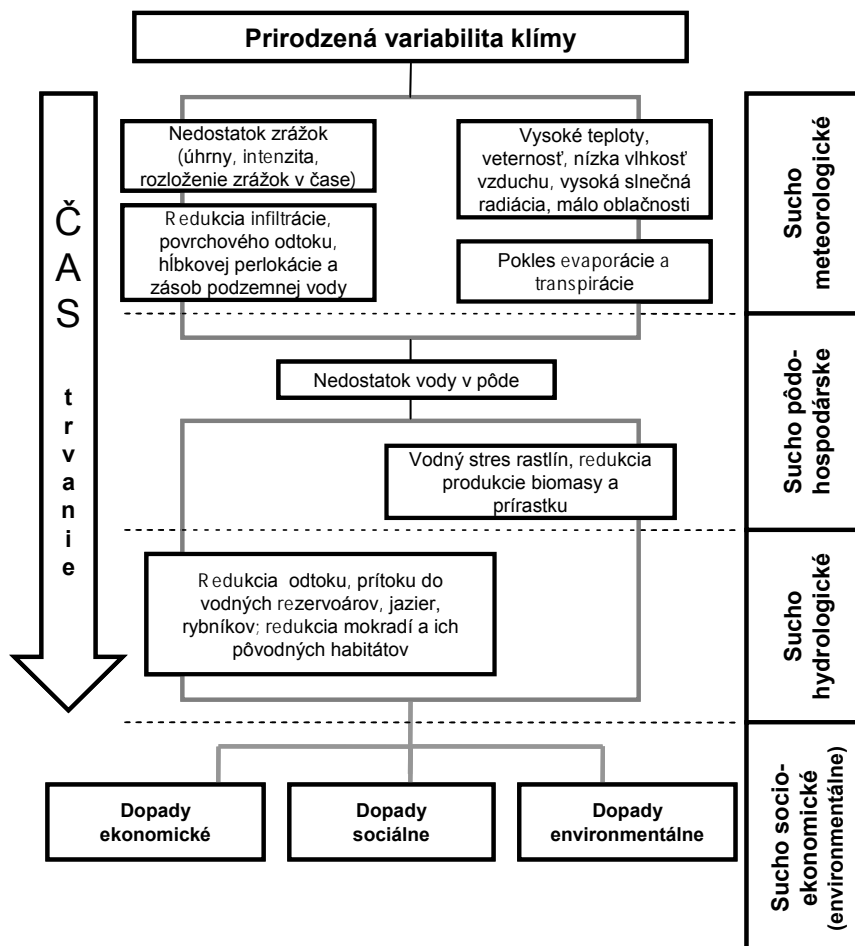
- Zvýšenie teploty vzduchu v čase výskytu cyklonálneho počasia vyvolá významné zvýšenie teploty vo dňovej pary (aj množstva vodnej pary pripravenej na kondenzáciu v atmosfére), čo zapríčini dramatický rast **búrok a mimoriadne vysokých úhrnov zrážok** v teplom polroku (úhrny až do 400 mm)

- Konôpka *et al.* /13/ na základe podrobnej analýzy **nebezpečných vetrov** (nad 8 stupeň Beauforta, čo je búrlivý vietor o rýchlosti vetra viac ako 70 km.h⁻¹) zistili, že priemerná ročná početnosť týchto vetrov sa v porovnaní so situáciou do roku 1960 zvýšila o viac ako dvojnásobok. Potvrdili sa tým doterajšie hypotézy o náraste početnosti nebezpečných vetrov pre lesné porasty. Zistili, že došlo k nárastu nebezpečných vetrov najmä pri vyšších rýchlostiach, a to hlavne v lesných oblastiach Tatry a Nízke Tatry. Tiež konštatujú

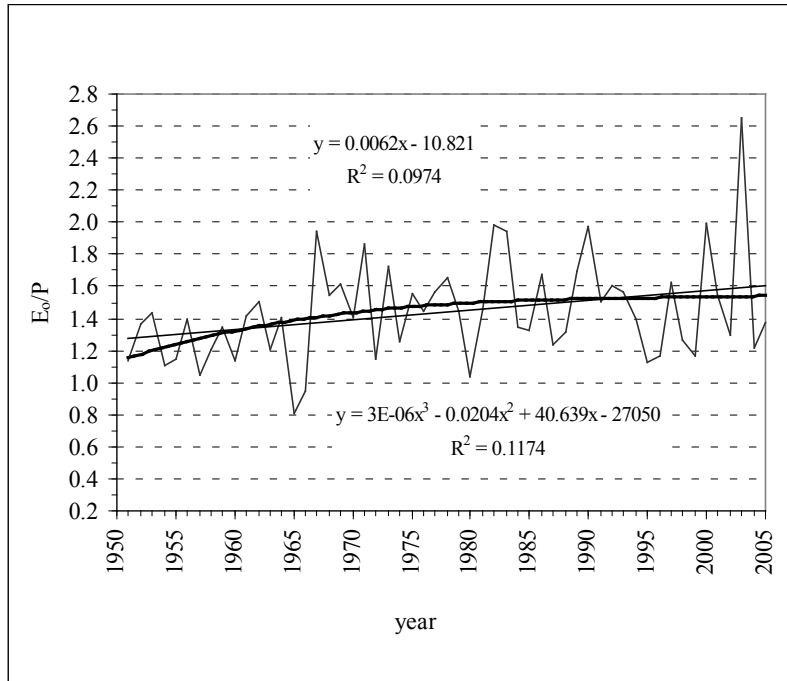
fakt, že smerom k vyššie ležiacim vegetačným stupňom sa početnosť vetrov o väčších rýchlostiach zvyšuje

- **Sneh**, predovšetkým ťažký a mokrý (tzv. lepkavý sneh) predstavuje závažný škodlivý činiteľ v lesoch SR /14/. Globálne oteplenie ako dôsledok klimatickej zmeny spôsobí posun hranice v ýskytu l epkavého s nehu do vyšších na dmorských v ýšok /8/. Vo vzťahu ku klimatickej z mene /14/ konštatujú, že pásmo najväčšieho poškodenia lesných porastov snehom s a pos unulo do v yšších na dmorských výšok, a ko bol o t omu v m inulosti. I de o nadmorské výšky nad 1000 m, najmä od 1300 do 1400 m. (6 až 7 vegetačný stupeň).

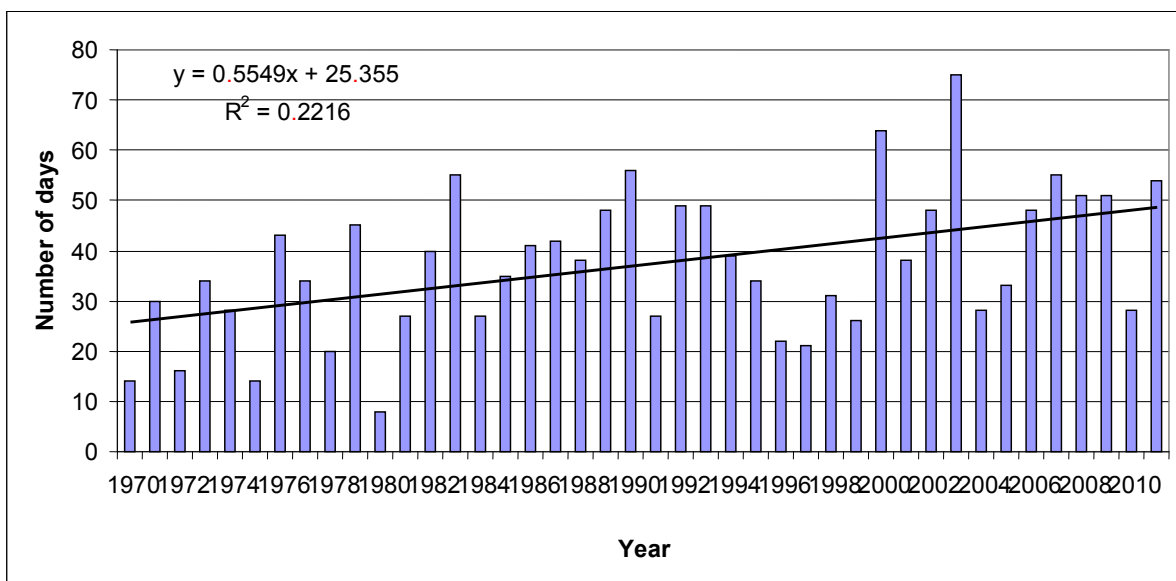
- **Škodcovia lesných porastov** reagujú na m eniace s a podm ienky pr ostredia pr iamo, zmenou svojej populačnej dynamiky, a nepriamo cez zmeny v štruktúre lesa a rezistencii stromov. M ožný pr ejav dopa dov kl imatických z mien j e t aký, že v súčasnosti relatívne bezvýznamní škodcovia môžu v budúcnosti zmeniť svoje správanie a spôsobiť rozsiahle škody. H myz j e fyziologicky mimo riadne c itlivý na teplotu a d okonca aj jej malé v ýkyvy môžu mať na les rozsiahle dopady /10/. Okrem zmeny distribučných areálov škodcov, klíma ovplyvňuje aj ich voltinizmus, čiže počet realizovaných **generácií** v roku /5/. V prípade, ak otepľovanie predĺži vegetačnú sezónu, očakáva sa, že počet generácií viacerých druhov sa zvýši smerom na sever, ako aj vo vyšších nadmorských výškach/4/.



Obr. 3: Definovanie chápania sucha pre rôzne sektory činností a jeho časová postupnosť (podľa 6, 7, 20/).



Obr. 4: Štatisticky významný ($\alpha = 0.001$) dlhodobý rastúci trend priebehu indexu s ucha (E_o/P) v Hurbanove v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa) /20/.



Obr. 5: Štatisticky významný ($\alpha = 0.001$) dlhodobý rastúci trend priebehu indexu požiarneho rizika pre lesné porasty na strednom Spiši v rokoch 1970–2011 /9/.

Mesiace	Veg. obdobie												Veg. obdobie												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
	rok i												rok i + 1												
Extrémne periódy chladu	X	X	x									x	X	X	X	x								x	X
Náhle poklesy teplôt	X	X	X	X	x							x	X	X	X	X	X	x						x	X
Neskoré mrazy				x	X	x											x	X	x						
Skoré mrazy										x	X	x										x	X	x	
Veľké T - amplitúdy		x	X	X	x										x	X	X	x							
Teplé periódy	X	X	X	x						x	X	X	X	X	X	X	x					x	X	X	X
PERIÓDY HORÚČAV						x	X	X	x										x	X	X	x			
PERIÓDY SUCHA		x	x	X	X	X	X	X	X	x	x				x	x	X	X	X	X	X	X	x	x	
Intenzívne radiačné poč.					x	X	X	X	x									x	X	X	X	x			
Inverzné situácie	X	X	x						x	X	X	X		X	X	x						x	X	X	X
Mohutné víchrice	X	X	X	x					x	X	X	X		X	X	X	x					x	X	X	X
Námraza a mokrý sneh	X	X	X	x							x	X		X	X	X	x							X	X
Fotooxidanty, O ₃ - ozón				x	X	X	X	X	x								x	X	X	X	X	x			
Mokrý smog, SO ₂ NO _x	X	X	x								x	X		X	X	x								x	X

X – výskyt faktora významný, x – výskyt faktora menej významný

Obr. 6: Prehľad potenciálnych poveternostných stresových faktorov (PPSF), lesných ekosystémov v strednej E urópe. Vidíme, že v l etných mesiacoch predstavujú vysoké teploty vzduchu, deficit zrážok a následné veľké straty zásob vody z pôdy výparom vážne ekologické ohrozenie stability lesných spoločenstiev.

ZÁVER

Prírodné podmienky lesov SR od konca 20. storočia sa vyznačujú globálnymi zmenami prostredia. Na pozadí vysokej a nadlimitnej imisnej záťaže koncom 80-tych rokov minulého storočia sme sa stali svedkami nastupujúcej globálnej zmeny klímy. Rastúce prírodné riziká a katastrofy, ako napríklad: teplotné extrémny, riziko skorých a neskorých mrazov, sucho, lesné požiare, privalové lejaky, krupobitie – ľadovec, povodne, zosuvy pôdy a jej erózia, lavíny, zimné búrky, ale aj imisné, veterné kalamity a kalamity podkôrneho hmyzu, sú podľa mnohých vedcov neklamnými znakmi človekom podmienenej globálnej zmeny klímy. Za obdobie 1881–2008 sa na Slovensku pozoroval rast priemernej ročnej teploty vzduchu asi o 1,6°C a pokles ročných úhrnov atmosférických zrážok asi o 3,4 % v priemere (na juhu SR bol pokles aj viac ako 10%, na severe a severovýchode ojedinele je rast do 3%). Zaznamenaný bol aj výrazný pokles relatívnej vlhkosti vzduchu (na juhu SR od roku 1900 okolo 5 %, inde v SR menej) a pokles snehovej pokrývky do výšky 1000 m takmer na celom území (vo väčšej nadmorskej výške rast). Aj charakteristiky potenciálneho a aktuálneho výparu, vlhkosti pôdy, globálneho žiarenia a radiačnej bilancie potvrdzujú, že najmä juh Slovenska sa postupne vysušuje (rastie potenciálna evapotranspirácia a klesá vlhkosť pôdy), no v charakteristikách slnečného žiarenia nenastali podstatné zmeny (okrem prechodného zníženia v období rokov 1965–1985). Zvýšenie teploty vzduchu v čase výskytu cyklonálneho počasia vyvolá významné zvýšenie tlaku vodnej pary (aj množstva vodnej pary pripravenej na kondenzáciu v atmosfére), čo zapríčini dramatický rast mimoriadne vysokých úhrnov zrážok počas silných búrok v teplom polroku a aj niekoľkodenných cyklonálnych situácií celoročne. Dá sa predpokladať, že prípady mimoriadne vysokých úhrnov zrážok (opakujúcich sa zriedkavejšie ako raz za 50 rokov) budú o 25 až 50 % vyššie ako v predchádzajúcich desaťročiach. Pravdepodobne najvyššie denné úhrny prekročia 150 mm takmer každý rok a raz za 50 rokov aj 400 mm v niektorej lokalite na Slovensku. Tento predpoklad vyplýva priamo z fyzikálnej teórie atmosférických zrážok [21]. Z ďalších extrémov budú zaujímavé predovšetkým vlny letných horúčav. Vlny horúčav budú spojené aj s vysokou frekvenciou výskytu sucha a následných lesných požiarov. Potreba závlah sa v intenzívnej lesníckej škôlkarskej činnosti stane pravdepodobne nevyhnutnosťou. Dramatická zmena zimných podmienok umožní prežitie celého radu teplotne citlivých organizmov, vrátane škodcov. Napriek tomu významne vzrastie riziko poškodenia stromov a vegetácie neskorými jarnými mrazmi, pretože sa posunie začiatok vegetačného obdobia do polovice februára, keď astronomické podmienky dovoľujú výrazný krátkodobý pokles teploty vzduchu (na niekoľko hodín nadráno) pri občasných vpádoch studeného vzduchu. Množstvo zmeny od tokových pomero, spôsobené zmenami klimatickými podmienkami, vyvolajú celospoločenský tlak na posilnenie hydrických a vodohospodárskych funkcií lesov SR v oblastiach hospodárenia s vodnými zdrojmi.

LITERATÚRA

- /1/ Fabian, P.: Atmosphäre und Umwelt. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1983: 102–103.
- /2/ Fanta, J.: Lesy a lesnictví ve střední Evropě: IV. Změny ve 20. století. Živa, 2007: 65–69.
- /3/ Flemming, G., Krečmer, V. Bioklimatologie k aktuálním problémům lesnické biotechniky v imisních oblastech. Lesnická práce, 1986: 535–540.
- /4/ Grodzki, W., Jakuš, R., Lajzová, E., Sitková, Z., Maczka, T., Škvarenina, J.: Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. Annals of Forest Science, 63, 2006: 55–61.

- /5/ Hansen, E.M., Bentz, B.J.: Comparison of reproductive capacity among univoltine, semivoltine, and re-emerged parent spruce beetles (Coleoptera: Scolytidae). *The Canadian Entomologist*, 135, 2003: 697–712.
- /6/ Hayes M.J, Svoboda M.D, Wilhite D.A, Vanyarko O.V.: Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *American Meteorological Society*, 80, 1999: 429–438.
- /7/ Heim, R.R.: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *American Meteorological Society*, 83, 2002: 1149–1165.
- /8/ Hríbková, M., Majlingová, A., Škvarenina J., Kyselová, D.: Winter snow supply in small mountain watershed as a potential hazard of spring flood formation. In: Střelcová, K. et al. (eds): *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer Verlag, 2009: 119–128.
- /9/ Holécý, J., Škvarenina, J.: The evaluation of fire weather indices and forest fire occurrence observed in the Slovak Paradise National Park. In: 19th International congress of biometeorology: congress handbook : 4-8 December 2011, the University of Auckland, New Zealand. University of Auckland, Auckland, 2011: 6 p.
- /10/ Lange, H., Økland, B., Krokene, P.: Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Interjournal for Complex Systems*, 2006: 16–48.
- /11/ IPCC, 2010: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.htm
- /12/ ICP: www.icpmapping.org
- /13/ Konôpka, J., Konôpka, B., Raši, R., Nikolov, Ch.: Nebezpečné smery vetra na Slovensku. *Lesnícke štúdie č. 60*. NLC – LVÚ, Zvolen, 2008a: 81.
- /14/ Konôpka, J., Konôpka, B., Nikolov, Ch.: Snehové polomy v lesných porastoch na Slovensku a analýza kalamity zo zimy 2005/2006. *Lesnícke štúdie č. 59*. NLC – LVÚ, Zvolen, 2008b: 65.
- /15/ Matzner, E., Meiwes, K.J.: Long-term development of element fluxes with bulk precipitation and throughfall in two German forests. *Journal of Environmental Quality*, 23, 1994: 162–166.
- /16/ Mindáš, J., Škvarenina, J.: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. EFRA, LVÚ, Zvolen, 2003: 129.
- /17/ Mindáš, J., Škvarenina, J.: Lesy Slovenska a znečistenie ovzdušia. *Technická univerzita, EFRA, Zvolen*, 2004: 149.
- /18/ Moldan, B.: *Geochemie atmosféry*. Academia, Praha, 1977: 160.
- /19/ Strelcova, K., Matyas, C., Kleidon, A., Lapin, M., Matejka, F., Blazenec, M., Skvarenina, J., Holecý, J.: *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer Verlag, Publishers, NEW YORK INC, © 2009: 298.
- /20/ Škvarenina, J., Tomlain, J., Hrvol, J., Škvareninová, J. Occurrence of dry and wet periods in altitudinal vegetation stages of West Carpathians in Slovakia: Time-Series Analysis 1951–2005. In: Střelcová, K. et al. (eds): *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer Verlag, 2009: 97–106.
- /21/ Škvarenina, J., Szolgay, J., Šiška, B., Lapin, M.: Klimatická zmena a krajina: dopady klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia na Slovensku v sektoroch "vodné hospodárstvo, lesy a poľnohospodárstvo". (Štúdiá Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti SAV XXV). *Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen*, 2010: 114.

Podakovanie

Tento príspevok je podporovaný grantmi na výskum VEGA 1/1130/12, VEGA 1/0281/11, VEGA 1/0257/11 zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č. APVV 0423-10 a č. APVV 0303-11.

ODOZVA LESNÝCH DREVÍN NA ENVIRONMENTÁLNE STRESY: OD SEMENÁČIKOV PO DOSPELÉ STROMY

RESPONSE OF FOREST TREE SPECIES TO ENVIRONMENTAL STRESSES: FROM SEEDLINGS TO MATURE TREES

Jaroslav Kmet', Daniel Kurjak

Technická univerzita v Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra fytoológie, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, kmet@tuzvo.sk

Summary

Global climate change, air pollutions and constrained nutrient availability lead to large-scale damage of forest stands. The most significant changes are noticed in the changed distribution of precipitation during the vegetation season, as well as in rising number of days with extreme temperatures. Physiologically weakened trees are often a target for secondary agents. The most frequent stress factors and their influence on most abundant tree species in Central Europe (beech, spruce, oak) are discussed in this study. Furthermore, the physiological response and adaptation mechanisms are described. Nowadays, it is hard to predict the reaction of forest trees to expected changes in intensity and frequency of the main environmental drivers. In addition, the effect of different factors is often multiplied, intensity and frequency vary in the time and the response of seedlings and mature trees is different as it changes during ontogeny.

Key words: forest decline, climate change, biotic agents, synergistic effect, tolerance, acclimation, ontogeny

Souhrn

Globálna klimatická zmena, znečistenie atmosféry a narušenie minerálnej výživy vedú k rozsiahlym škodám na lesných porastoch. Najvýznamnejšie zmeny badať v zmene distribúcie zrážok počas vegetačnej sezóny, ako aj zvýšení počtu dní s extrémnymi teplotami. Fyziologicky oslabené stromy často podliehajú sekundárnym škodlivým činiteľom. Príspevok sa zaoberá stresujúcimi faktormi najčastejšie pôsobiacimi na najbežnejšie dreviny strednej Európy (buk, smrek a dub), ich vplyvom na fyziologické procesy a mechanizmami adaptácie. V súčasnosti je len ťažko odhadnúť reakciu drevín na predpokladané zmeny v intenzite a frekvencii pôsobenia jednotlivých faktorov. Navyše, vplyv rôznych stresujúcich faktorov je často kombinovaný, intenzita a frekvencia je rôzna a reakcia sadeníc či dospelých jedincov na stres je rôzna a mení sa v priebehu ontogenézy.

Kľúčová slova: odumieranie lesov, zmena klímy, biotickí škodcovia, synergický efekt, odolnosť, aklimácia, ontogenéza

ÚVOD

Mechanizmy zhoršovania zdravotného stavu lesov nie sú zatiaľ presne známe. Príčiny fyziologického oslabenia lesných porastov však súvisia s dlhodobým vplyvom znečistenia ovzdušia, s acidifikáciou pôdy a narušením minerálnej výživy, najmä však s meniacimi sa klimatickými podmienkami [9, 11, 34]. Otepľovanie je jedným z najdôležitejších následkov globálnej klimatickej zmeny. Priemerná teplota narástla za posledné storočie o 0,74 °C a postupne rastie o 0,1 °C za dekádu [17]. Zmeny priemerných teplôt a zrážkových úhmov však nemusia byť v budúcnosti faktormi s rozhodujúcim vplyvom na rast a zdravotný stav

drevín. Zmeny amplitúd a frekvencie opakovania sa extrémnych vplyvov budú zrejme hrať dôležitejšiu úlohu. Extrémne počasie môže viesť relatívne rýchlo k fyziologickému oslabeniu populácií a následnému napadnutiu hmyzom, hubami a patogénmi a to aj v regiónoch, ktoré sú vo všeobecnosti považované za vhodné pre ten-ktorý druh /2, 26/.

ODUMIERANIE LESOV V STREDNEJ EURÓPE

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) je najzastúpenejšou pôvodnou drevinou v strednej Európe. Je relatívne prispôsobivým a adaptabilným druhom, a však stáva sa citlivým voči klíme v oblastiach blízko jeho xerických limitov distribúcie /26/. Rast a kompetičná schopnosť buka môže byť v budúcnosti silno ovplyvnená intenzívnymi suchými obdobiami počas vegetačnej sezóny /13/. Príkladom hromadného úhynu sú bukové lesy v Maďarsku v rokoch 2003 a 2004. Rozpad bol najskôr zaznamenaný v porastoch blízko a lebo mimo prirodzený areál výskytu buka. Najvýznamnejším spúšťačom bolo sucho v období rokov 2003 a 2004, ktoré oslabilo stromy, čo prispelo k vytvoreniu ideálnych podmienok pre rozvoj rôzneho škodlivého hmyzu a patogénov. Charakteristické symptómy boli zaznamenané najmä na porastových stenách a v porastoch so zápojom z nízkeho vrámci obnovených zásahov. Priamou príčinou odumierania boli hmyzí škodcovia krasoň zelený (*Agrilus v iridis*) a podkôrník – lykožrút smrekový (*Taphrorychus bicolor*), ako aj huba peniazovček (*Biscogniauxia nummularia*). S priaznivejšími klimatickými podmienkami v roku 2005 bol pozorovaná postupná regenerácia porastov /24/.

V súčasnosti je najčastejšou príčinou odumierania **smreka obyčajného** (*Picea abies*) napadnutie podkôrným hmyzom (čeláde *Coleoptera*, *Scolytidae*), podpňovkou (*Armillaria* sp.) a mechanickým poškodením vetrom /18/. Smrek je citlivý na zásobenosť vodou /23/, keďže jeho koreňový systém je plytký a až 85% jemných koreňov smreka sa nachádza v hĺbke do 10 cm /31/. Vrchné vrstvy pôdy sú najviac ohrozené suchom, ale tiež fluktuáciou teploty a acidifikáciou. To má negatívny vplyv na zásobu jemných koreňov v povrchových vrstvách pôdy /21/ a následne opäť na zásobenosť vodou. Vo viacerých regiónoch Slovenska, Čiech, Nemecka a Rakúska je rast a prežívanie smreka silno ovplyvnené klimatickou zmenou a ich zdravotný stav je často kritický. Slabé zrážky môžu mať súvis s odumieraním smreka v oblasti južného Fínska, ktorá je náchylná na výskyt sucha /25/. Spodná hranica výskytu smreka sa v budúcnosti bude posúvať smerom nahor a v oblastiach hornej hranice výskytu bude pravdepodobne jeho produkčná schopnosť narastať /14/.

V podmienkach strednej Európy bol evidovaný tiež nárast odumierania **duba zimného a duba letného** (*Quercus petraea* a *Q. robur*) /4/, ktorý je relatívne odolný voči suchu a vysokým teplotám. Časté izolovanie huby *Ophiostoma* z dreva dubov /30/ viedla minulosti k predpokladu, že hlavnou príčinou rozpadu dubových lesov bolo ochorenie zvané vaskulárna mykóza, ktorú spôsobuje jeden alebo viacerých druhov húb rodu *Ophiostoma* alebo *Ceratocystis*. Teória, že vaskulárna mykóza je primárnou príčinou odumierania duba však bola neskôr spochybnená /5/. V súčasnosti sa väčšia pozornosť venuje výskumu ostatných biotických škodcov a vplyvu environmentálnych vplyvov. V postihnutých porastoch bol pozorovaný častý vplyv silného sucha, zaplavovania, rýchle výkyvy množstva vody v pôde a studené zimy. Existuje široká zhoda v predpoklade, že práve stres vyplývajúci z pôsobenia zmienych stresujúcich faktorov môže byť rozhodujúci pri iniciácii rozpadu a že práve tieto faktory vedú k chronickému oslabeniu a sekundárnemu poškodeniu hmyzom a inváznymi hubami. Biotickí škodcovia zahŕňajú viacero podkôrníkov (napr. *Agrilus* sp., *Scolytus* sp.), hmyz požierajúci asimilačné orgány (*Tortrix* spp.), nekrózy kôry (spôsobené napr. *Pezicula* sp. alebo *Fusarium solani*) a hnitie koreňov (*Armillaria* sp. a *Collybia* sp.) /4/.

STRESUJÚCE FAKTORY A FYZIOLOGICKÁ REAKCIA DREVÍN

Znečistenie atmosféry a acidifikačný stres v rizosfére môžu spolu s poškodením povrchu ihličiek a vyplavovaním živín viesť k prehĺbeniu nutričného stresu /19/. Odumieranie

smrečín však nemôže byť spájané len s mortalitou stromov v dôsledku imisného pôsobenia. Je totiž zjavné, že postihnuté sú aj územia mimo dosah hlavných industriálnych centier, dokonca aj v regiónoch s „čistým ovzduším“ a nízkym obsahom SO_2 /10/.

Sucho je v súčasnosti považované za jeden z najvýznamnejších faktorov vplývajúcich negatívne na fyziologický stav drevín. Na našom území s ucho dlhodobo najviac ohrozuje boriny na Záhorí, v ýrazné je tiež poškodenie duba a smreka. V ekofyziologickom poňatí hovoríme o strese z osucha v prípade, keď pokles dostupnosti vody v pôde vedie k obmedzeniu transpirácie a rastu rastlín. Sucho vedie k zatváraniu prieduchov, k poklesu vodného potenciálu v rastlinách a následne ku kavitáciám, čím je súčasne limitovaný aj príjem CO_2 vo fotosyntetických reakciách /27/. Z a podmienok dlhotrvajúceho silného sucha dochádza na úrovni pletív xylému k nevratnému prerušeniu transportu vody, čo má za následok predčasný úhyn koreňov a výhonov, prípadne môže viesť až k úhynu celej rastliny. Sucho má ni ekedy silný vplyv na kolobeh uhlika nielen redukciou fotosyntézy, ale aj obmedzením respirácie pôdy, čím ovplyvňuje vitalitu najmä mladých jedincov.

Počas vodného stresu klesá príjem rast limitujúcich živín, čo poukazuje na fakt, že nepriamy efekt množstva vody v pôde na príjem živín môže byť taký dôležitý, ako priamy efekt vodného stresu na rast /32/. Vodný deficit, spôsobený neschopnosťou hubovými patogénmi poškodeného koreňového systému saturovať požiadavky stromov, bol v oblasti Sliezska považovaný za hlavný predispozičný aj mortalitný faktor hynutia smrekových porastov/16/. Stanovenie kritických podmienok, pri ktorých dreviny začínajú trpieť suchom, je stále otvorenou otázkou.

Stres z vysokej teploty môže byť hlavným limitujúcim faktorom distribúcie, adaptability a produktivity rastlín /33/. Fotosyntéza je proces veľmi citlivý voči teplotnému stresu. Narušované sú najmä fotosystém II, fixácia CO_2 Rubiscom a systém tvoriaci ATP /7/. Vysoké teploty ovplyvňujú tiež deficit tlaku vodných pár v ovzduší, ktorého ná rast vedie k zvýšeniu gradientu v odných páram edzi listom a atmosférou, k vyššej transpirácii pri otvorených prieduchoch a neskôr k uzatváraniu prieduchov /1/.

Dôležitý je aj ďalší nepriamy efekt – zvýšenie intenzity transpirácie stálezelených drevín koncom zimy a z toho vyplývajúce zvýšenie rizika zimného vysychania. Rastliny môžu trpieť suchom aj napriek veľkej zásobe zamrzutej vody v pôde a to z dôvodu jej fyziologickej nedostupnosti. Smrek, ako neopadavá drevina, s plytkou koreňovou sústavou, je týmto faktorom zvlášť ohrozený. Význam zimného vysychania môže narastať so znižovaním snehovej pokrývky a hlbším premrzaním pôdy.

Nadmerné ožiarenie vedie k fotoinhibícii (dočasné prerušenie transportu elektrónov) až fotodeštrukcii (nezvratné poškodenie bunkových membrán) asimilačného aparátu. Deštrukcia membrán a následné vybielovanie fotosyntetických pigmentov je dôsledkom vzniku vysoko reaktívnych foriem redukovaného kyslíka počas dlhotrvajúceho intenzívneho ožiarenia. Veľké riziko predstavuje predovšetkým náhle oslnenie častí koruny, ktoré dlhodobo rástli zatienené, napríklad po ťažbe alebo kalamite. Jedince, ktorá rástli v husto zapojenom poraste majú tiež vyššie nasadenú korunu, odclonenie kmeňa tak spôsobí jeho prehrievanie a optimálne podmienky pre vývoj podkôrneho hmyzu.

Uvedené stresujúce faktory zriedka pôsobia samostatne. Stáva sa tak, že i občasne sa vyskytujúce suché obdobia, ktorých samotné pôsobenie by adaptačné mechanizmy drevín dokázali eliminovať, môžu zapríčiniť v spolupôsobení ďalších faktorov úplný rozpad porastov. Kombinovaný stres tak môže ovplyvniť prežívanie dospelých stromov ešte výraznejšie ako chronické pôsobenie jediného stresujúceho faktora /28/.

Pôsobenie rôznych nepriaznivých faktorov sa väčšinou prekrýva, čím sa často prehlbuje ich negatívny efekt. Nedostatok vody v pôde je napr. často sprevádzaný vysokými teplotami a nadmerným ožiarением asimilačných orgánov, čo spôsobuje ich prehrievanie, ďalšie straty vody a ďalšie zosilnenie stresu zo sucha. Zvýšená teplota a ožiarenie tak determinujú nielen mieru sucha, ale pôsobia spoločným – synergickým efektom. Veľmi časté je pôsobenie

abiotických stresorov, fyziologické oslabenie dr eviny a následné zvýšenie a agresivity biogénnych škodcov. Príkladom pozitívnej interakcie je zvýšenie odolnosti voči teplotnému stresu u rastlín trpiacich suchom.

MECHANIZMY ADAPTÁCIE A REAKCIE NA STRESUJÚCE FAKTORY

Rastliny sú schopné prispôbiť sa stresovej situácii morfológickými, anatomickými, fyziologickými, biochemickými a molekulárnymi adaptáciami, ktorých úlohou je udržať homeostázu bunkového prostredia. Dedične fixované zmeny, ktoré zvyšujú pravdepodobnosť prežitia a reprodukcie (adaptácia) sú prítomné bez ohľadu na prítomnosť stresora. Krátkodobá, nededičná zmena v rámci fenotypovej plasticity určitého genotypu je aklimácia. Z časového hľadiska potenciálnym adaptáciám predchádza stresová reakcia. Z dlhodobého hľadiska sa môžu stresové faktory podieľať na výbere nových, geneticky odlišných populácií, až po vznik nových druhov /3/.

Je mnoho faktorov determinujúcich reakciu rastliny na stresový faktor. Sú to jednak faktory týkajúce sa samotného stresora, kedy sú podstatné trvanie a sila pôsobenia. Dôležitá je otázka prípadného opätovného vystavenia rastliny zaťažujúcemu vplyvu a tiež prídavné alebo synergické efekty s iným pôsobením viacerých stresorov / 6/. Neexistuje jednotný rezistenčný mechanizmus voči abiotickému stresoru. Rezistencia voči nemu je realizovaná mechanizmom vyhnutia sa stresu (*stress avoidance*) alebo vytvorením tolerancie (*stress tolerance*) voči nemu. Z hľadiska rastliny sa môže prejavovať stres rôznymi spôsobmi v závislosti od druhu rastliny, individuálneho stupňa citlivosti (genotyp) a vývinového štádia, resp. veku orgánu, pletiva alebo rastliny.

Stresové reakcie sú závislé na aktivácii určitých génov, ktoré môžu byť pri ich pôsobení iniciované. Rastliny rozdielnych genotypov môžu vo vzťahu k tomu istému stresoru realizovať zhodné alebo výrazne odlišné adaptácie (fyziologicko-biochemické a morfológické zmeny). Preto aj pri eventívnej opatrení na odstraňovanie škodlivých následkov pôsobenia stresových faktorov, resp. zvýšenie adaptability nie je možné uskutočniť bez objasnenia mechanizmov formovania obrannej reakcie v počiatočnom období pôsobenia faktorov. V tomto smere je dôležité venovať pozornosť zákonitostiam vzniku a vývinu tých stresov, ktoré dominujú v prvých fázach ich pôsobenia.

V súvislosti s otepľovaním klímy, kombinácia vysokých teplôt a zníženej dostupnosti vody síce znižujú hrúbkový prírastok drevín náhlou zmenou asimilačných procesov, ale mierne predĺženie vegetačnej doby môže čiastočne kompenzovať suchom indukované straty na raste /8/.

VEK STROMOV A PÔSOBENIE STRESU

V priebehu ontogenézy prebiehajú významné zmeny v pôsobení kľúčových stresových faktorov, ako aj zmeny v citlivosti voči nim. S narastajúcou veľkosťou stromu sa zväčšuje aj hĺbka koreňového systému, vďaka čomu je dostupná voda vo väčšej hĺbke. Tieto zásoby vody, predovšetkým podzemné zdroje vody, sú menej ovplyvnené bezrážkovými obdobiami. Vodný stav vysokých stromov je preto s pravidelnou zmenou ovplyvnený dynamikou zrážok a menšie (mladšie) stromy rastúce na voľnej ploche tak častejšie trpia mortalitou v dôsledku pôsobenia sucha. Situácia však môže byť odlišná v zapojenom dospele poraste. Dospelé stromy sú vystavené intenzívnemu žiareniu, teplota je preto vo väčšej výške vyššia / 29/. Vyššia teplota vedie k nárastu transpiračného tlaku, čo ovplyvňuje dostupnosť vody vysokých stromov. Navyše, gravitačná zložka vodného potenciálu narastá o $0,01 \text{ MPa m}^{-1}$. Aby vysoké stromy kompenzovali tento nárast a aby boli schopné zabezpečiť dostatok vody vo vrcholových častiach koruny, musí byť vodný potenciál vysokých stromov výrazne nižší ako u stromov nižších /20/. To vedie k zníženiu prieduchovej vodivosti a čiastočne aj k zníženiu asimilácie vysokých stromov.

Fotoinhibičné poškodenie je v ýraznejšie u rastlín rastúcich v podmienkach s tresou z sucha a v vysokej teplote / 12/. Toto poškodenie samozrejme ohrozuje predovšetkým v vysoké jedince vystavené priamemu slnečnému žiareniu. Na druhej strane, tieň pod zapojeným porastom obmedzuje asimiláciu u hláv nízkych a mladých jedincov a stáva sa najvýznamnejším limitujúcim faktorom ich prežívania. Spomedzi ďalších environmentálnych činiteľov je za rast limitujúci faktor považovaná dostupnosť živín v dospelých porastoch.

Produktivita dospelých porastov teda môže byť teda limitovaná tromi chronickými environmentálnymi stresormi: limitované množstvo dostupnej vody resp. živín a nadbytok svetla. Produktivita a prežívanie drevín v podraze môže byť limitovaná nedostatkom svetla a nedostatkom živín /28/.

Tiež citlivosť voči jednotlivým stresujúcim faktorom výrazne kolíše v závislosti od veku dreveniny. S narastajúcou veľkosťou stromu narastá aj množstvo biomasy koreňov a kmeňa, podiel biomasy v listoch klesá. Navyše, koncentrácia neštruktúrálnych sacharidov sa zvyšuje s narastajúcou veľkosťou stromu, čo naznačuje vyššiu inhibíciu rastu než fotosyntézy s narastajúcou výškou / 22/. U vysokých stromov môže zásoba neštruktúrálnych sacharidov niekoľkokrát presiahnuť množstvo potrebné pre úplné vytvorenie listového zápoja / 15/. V podstate akýkoľvek stres má za následok pokles fotosyntetickej aktivity a prežívanie drevín je v podmienkach nefungujúcej asimilácie uhlíka závislé na množstve zásob neštruktúrálnych sacharidov. Tieto zásoby sú výrazne väčšie u dospelých stromov, pretože sú v podmienkach stresu ohrozenejšie semenáčky, ktoré sú viac závislé na okamžitom fotosyntetickom výkone. Tiež pravdepodobnosť napadnutia hubami klesá počas ontogenetického vývoja.

Aj na priek vo všeobecnosti v vyššej odolnosti dospelých jedincov voči stresu, jeho dlhodobé pôsobenie môže viesť k vyčerpaniu zásob neštruktúrálnych sacharidov a k úplnému rozpadu porastov. Takéto katastrofické udalosti sa častejšie vyskytujú v prestarnutých porastoch.

LITERATÚRA

- /1/ Addington, R.N., Mitchell, R.J., Oren, R., Donovan, L.A.: Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. *Tree Physiology*, 24, 2004: 561–569.
- /2/ Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., et al.: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 2010: 660–684.
- /3/ Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hnilíčková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J.: Rostlina a stres. Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha, 2003: 180.
- /4/ Brasier, C.M.: *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. *Environmental constraints including climate change. Annales des Sciences Forestières*, 53, 1996: 347–358.
- /5/ Brasier, C.M., Robredo, F., Ferraz, J.F.P.: Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathology*, 42, 1993: 140–145.
- /6/ Bray, A.E., Bailey-Serres, J., Weretilnyk, E.: Responses to abiotic stresses. In: Buchanan, B.B., Gruissem, W., Russell, L.J. (eds): *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Md., 2000: 1158–1203.
- /7/ Brestič, M., Živčák, M.: PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. In: Rout, G.R., Das, A.B. (eds): *Molecular Stress Physiology of Plants*. Springer India, 2013: 87–131.
- /8/ Büntgen, U., Frank, D.C., Schmidhalter, M.: Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees*, 20, 2006: 99–110.
- /9/ Bytnerowicz, A., Badea, O., Barbu, I. et al.: New international long-term ecological research on air pollution effects on the Carpathian Mountain forests, Central Europe. *Environment International*, 29, 2003: 367–376.
- /10/ Dietz, B., Moor, I., Fammersfeld, U., Rühle, W., Aloysius, W.: Investigation on the photosynthetic membranes of spruce needles in relation to the occurrence of novel forest decline. I. The photosynthetic electron transport. *Zeitschrift für Naturforschung*, 43, 1998: 581–588.
- /11/ Ditmarová, E., Kmeť, J., Ježík, M., Váľka, J.: Mineral nutrition in relation to the Norway spruce forest decline in the region Horný Spiš (Northern Slovakia). *Journal of Forest Science*, 53, 2007: 93–100.

- /12/ Flexas, J., Badger, M., Chow, W.S., Medrano, H., Osmond, C.B.: Analysis of the relative increase in photosynthetic O₂ uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperatures and/or water stress. *Plant Physiology*, 121, 1999: 675–684.
- /13/ Geßler, A., Kitzler, C., Kreuzwieser, J., Matyssek, R., Seiler, W., Rennenberg, H.: Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21, 2007: 1–11.
- /14/ Hlásný, T., Barcza, Z., Fabrika, M., Balázs, B., Churkina, G., Pajtk, J., Sedmák, R., Turčáni, M.: Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. *Climate Research*, 47: 219–236.
- /15/ Hoch, G., Richter, A., Körner, C.: Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. *Plant Cell and Environment*, 26, 2003: 1067–1081.
- /16/ Holuša, J., Liška, J.: Hypotéza chřadnutí a odumírání smrkových porostů ve Slezsku (Česká republika). *Zprávy lesnického výzkumu*, 47, 2002: 9–15.
- /17/ IPCC, 2007. Climate change: the physical science basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2007: 996.
- /18/ Jakuš, R.: Bark beetle (*Coleoptera, Scolytidae*) infestation in spruce forest stands affected by intensive forest decline connected with honey fungus (*Armillaria* sp.). *Anzeiger für Schädlingskunde*, 74, 2007: 46–51.
- /19/ Kmeť, J., Kulla, L., Jakuš, R.: Analýza fyziologickej odozvy smreka na rôzne ekologické podmienky. *Beskydy*, 17, 2004: 111–118.
- /20/ Koch, G.W., Sillett, S.C., Jennings, G.M., Davis, S.D.: The limits to tree height. *Nature*, 428, 2004: 851–854.
- /21/ Konôpka B.: Differences in fine root traits between Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) – A case study in the Kysucké Beskydy Mts. *Journal of Forest Science*, 55, 2009: 56–566.
- /22/ Körner, C.: Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*, 91, 2013: 4–17.
- /23/ Kurjak, D., Štělcová, K., Ditmarová, L., Priwitzer, T., Homolák, M., Pichler, V.: Physiological response of irrigated and non-irrigated Norway spruce trees as a consequence of drought in field conditions. *European Journal of Forest Research*, 131, 2012: 1737–1746.
- /24/ Lakatos, F., Molnár, M.: Mass mortality of beech (*Fagus sylvatica* L.) in south-west Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 5, 2009: 75–82.
- /25/ Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H.P., Neumann, U., Tveite, B., Nielikäinen, K., Röhle, H., Spiecker, H.: Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 171, 2001: 243–259.
- /26/ Mátyás, C., Berki, I., Czúcz, B., Gálos, B., Móricz, N., Rasztoivits, E.: Future of beech in southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 2010: 91–110.
- /27/ McDowell, N.G., et al.: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb? *New Phytologist*, 178, 2008: 719–739.
- /28/ Niinemets, Ü.: Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and Management*, 260, 2010: 1623–1639.
- /29/ Niinemets, Ü., Valladares, F.: Photosynthetic acclimation to simultaneous and interacting environmental stresses along natural light gradients: optimality and constraints. *Plant Biology*, 6, 2004: 254–268.
- /30/ Oleksyn, J., Przybyl, K.: Oak decline in the Soviet Union-scale and hypotheses. *European journal of forest pathology*, 17, 1987: 321–336.
- /31/ Przybylski, T.: Morphology. In: Tjoelker M.G., Boratynski A., Bugala W. (eds). *Biology and Ecology of Norway Spruce*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 1998.
- /32/ Pugnaire, F.I., Endol, L.S., Pardos, J.: Constraints by water stress on plant growth. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*. Pessarakli, M. (ed.): Marcel Dekker, New York, 1993: 247–259.
- /33/ Ranney, T.G., Peet, M.M.: Heat tolerance of five taxa of birch (*Betula*): Physiological responses to supraoptimal leaf temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119, 1994: 243–248.
- /34/ Woo, S.Y.: Forest decline of the world: A linkage with air pollution and global warming. *African Journal of Biotechnology*, 8, 2009: 7409–7414.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu APVV-0744-12.

VLIV KLIMATICKÝCH STRESOVÝCH FAKTORŮ NA POSUN LESNÍCH VEGETAČNÍCH STUPŇŮ

EFFECT OF CLIMATIC STRESS FACTORS TO THE SHIFT OF FOREST VEGETATION ZONES

Jaromír Macků

ÚHÚL Brandýs nad Labem, pobočka Brno, Vrázova 1, 616 00 Brno, ČR, macku.jaromir@uhul.cz

Summary

Effects of changes in Earth's climate system on vegetation and its adaptation need to be monitored and evaluated at the global and regional level. Both levels are closely related, adaptation measures are completely different. Recent findings derive from the application scenarios, depending on the model ALADIN/CLIMATE.CZ for time periods 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2099. In addition to basic characteristics the occurrence of two climatic stress factors was investigated - the number of days with daily rainfall of less than 1 mm, which in the growing season occurred in periods longer than 10 days in a row (D10) and the number of days in the growing season, when the average daily temperature was higher than 30 °C (T30). Processed climate change scenario according to ALADIN model allows subsequent application to a shift of forest vegetation zones.

Key words: Earth's climate system, stress climatic factors, climate change scenario

Souhrn

Dopady změny klimatického systému Země na vegetaci a její adaptaci je třeba sledovat a hodnotit na úrovni globální a úrovni regionální. Obě úrovně spolu úzce souvisí, adaptační opatření jsou zcela rozdílná. Současné poznatky pocházejí z aplikačních scénářů, v závislosti na modelu ALADIN/CLIMATE.CZ pro časové období 2011–2040, 2041–2070 a 2071–2099. Kromě základních charakteristik byl zkoumán výskyt dvou klimatických stresových faktorů – počet dní ve vegetačním období s denními srážkami méně než 1 mm za dobu delší než 10 dní (D10) a počet dní ve vegetačním období, když průměrná denní teplota je vyšší než 30 °C (T30). Zpracované scénáře změny klimatu dle modelu ALADIN umožňují následné aplikace do posunu lesních vegetačních stupňů.

Klíčová slova: klimatický systém země, klimatické stresové faktory, scénář klimatické změny

ÚVOD

Je však třeba hledat odpověď na otázku: Jaká opatření ve smyslu předběžné opatrnosti ke snížení vlivu globální klimatické změny na lesní ekosystémy byla uplatněna? Pro všechny lesy účinky vlivu klimatu nebudou lineární a obecně dost posilující než vyrovnávací. Rychlost reakce bude závislá na uspořádání přírodní a lidské adaptaci. Lidská intervence bude rychle přizpůsobena změnám v biomu a rozšíření druhů v regionech, které budou ovlivněny hospodařením. Proces přizpůsobení pravděpodobně proběhne pomaleji v přírodních lesích, kde přímá intervence člověka chybí /1/.

Je možné, že řídicím faktorem je daná setrvačnost neobhospodařovaných lesních systémů bez poškození. Tyto lesy mohou ukazovat nízkou zranitelnost a nízkou klimatickou citlivost.

Lesy mohou setrvat a jevit nízkou zranitelnost a klimatickou citlivost, ale mohou být dost klimaticky citlivé způsobem neokamžitě zřejmým. Pak jejich zranitelnost se může stát

redukcí kvality (degradace) právě když lesy setrvávají ve svém bytí. Zvýšení poškození může ale rychle vést ke strukturálním změnám s náhradou plevelných druhů. Perspektivně v kontextu se všemi přímými a nepřímými vlivy klimatické změny a její interakce lze konstatovat, že potenciál zranitelnosti lesů je vysoký /3/.

MATERIÁL A METODA

Zdrojem jsou podklady ČHMÚ dle modelu ALADIN/CLIMATE.CZ pro časové periody 2011–2040, 2041–2070, 2071–2099 /3, 4/. První závěry byly formulovány ve výstupech Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesnictví /1/. Výstupem jsou prostorové průměry základních klimatických charakteristik (průměrná denní teplota, denní úhrn srážek, průměrná denní rychlost větru, vlhkost vzduchu a sluneční záření) pro všechny lesní vegetační stupě (LVS), vyskytující se v jednotlivých PLO. Kromě těchto základních charakteristik byl zjišťován i výskyt klimatických extrémů (stresových faktorů) – počet dní s denním úhrnem srážek menším než 1 mm, které se ve vegetačním období (WEG5A) vyskytly v obdobích delších než 10 dnů za sebou (D10) a počet dní ve vegetačním období, kdy byla průměrná denní teplota vyšší než 30 °C (T30).

Výpočet daného (teplotního, srážkového, atd.) pole probíhal na podkladě bodových pozorování. Pro výpočet byly použity technické řady stanic, tzn., že původní staniční řady byly podrobeny kontrole kvality, homogenizaci a byly doplněny chybějící hodnoty v měřeních. Samotný výpočet technických řad vychází z metody IDW, kdy použité údaje je okolních stanic jsou nejprve standardizovány na nadmořskou výšku bodu, pro který počítáme novou řadu, a poté je váženým průměrem spočtena nová hodnota. Nastavení parametrů výpočtů se lišilo pro každý meteorologický prvek. Tyto staniční údaje byly interpolovány v ploše metodou univerzálního lineárního krigingu, před samotným výpočtem byly uplatněny lokální regresní závislosti dané veličiny na nadmořské výšce, kde váhovým koeficientem byla hodnota koeficientu determinace R² v každé buňce rastru. Vzhledem k zaměření projektu byl při řešení tohoto okruhu problémů kladen hlavní důraz na odhad vývoje klimatických stresových faktorů do konce tohoto století.

VÝSLEDKY A DISKUSE

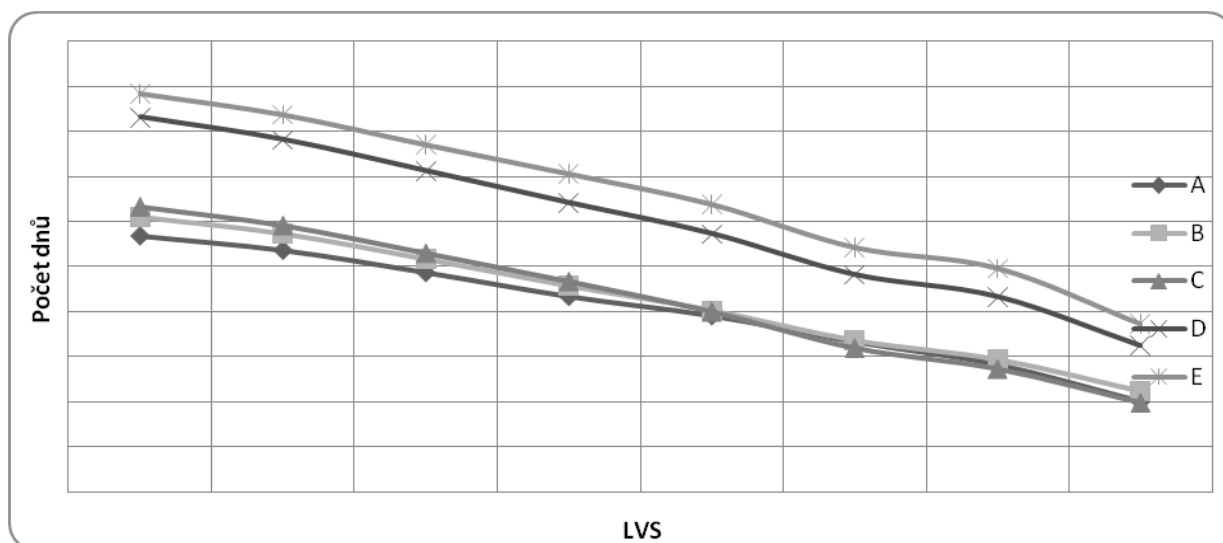
Pro odhad rizika pravděpodobnosti posunu lesních vegetačních stupňů (LVS) se ukázaly z testovaných výše uvedených základních klimatických prvků a odvozených stresových faktorů jako nejvhodnější stresové faktory D10 (*Graf č.1*) a T30 (*Graf č. 2*). Mezi obdobími A až C nejsou rozdíly v hodnotách stresových faktorů výrazné – mimo průběh T30 v období A ve srovnání s obdobími B a C, ale v obdobích D a E hodnoty prudce narůstají.

Předpokládané klimatické změny dle scénáře modelu ALADIN/CLIMATE.CZ /3, 4/, zejména období E mají za následek změnu ekologických podmínek charakterizující LVS.

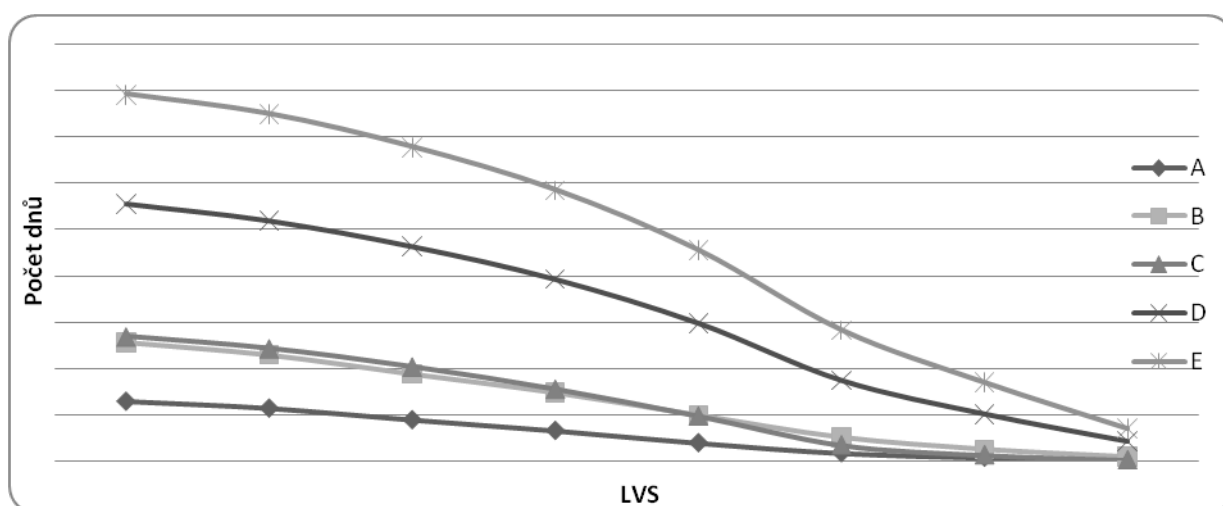
Pro obnovu lesa a vývoj lesních porostů má zásadní význam období E 2071–2099. Ke stanovení změn se využívá metoda biologické indikace, tj. informací o působení nebo přítomnosti některého činitele prostřednictvím jeho obrazu na živých organismech. Samotné biologické indikátory jen zřídka jednoznačně určují změnu stavu, změna je provázena vždy narušením celistvosti ekosystému, je ho s tabilitou /2/. Základním indikátorem lesních ekosystémů je jeho dřevinný edifikátor.

Mapované typologické jednotky však neztrácejí smysl. Zůstávají a platí pro rámeč vymezených ekologických podmínek trvalých i dynamických (co do intenzity), kam se řadí i klimatická změna. Konkrétní průvodní znaky procesu změny klimatu po poslední době ledové jsou známy jen povšechně. Především velmi citlivě reaguje dřevinná synuzie, jako edifikátor lesní geobiocenózy, různým stupněm vitality růstu. Dále změnou fytoocenózy (druhová, abundance a dominance), změnou ekotopu, provázenou změnou humusové formy a koloběhu živin (pH, sorpční komplex, vytěšňování Al apod.). Stresovaná stadia lesních společenstev jsou provázena zpravidla sníženou fruktifikací dřevin, nižší klíčivostí a vitalitou semenáčků

nebo úplnou neplodností semen a tím dochází k celkovému oslabení regeneračních schopností ekosystému.



Graf 1: Průběh hodnot 10D dle LVS a období A – E.

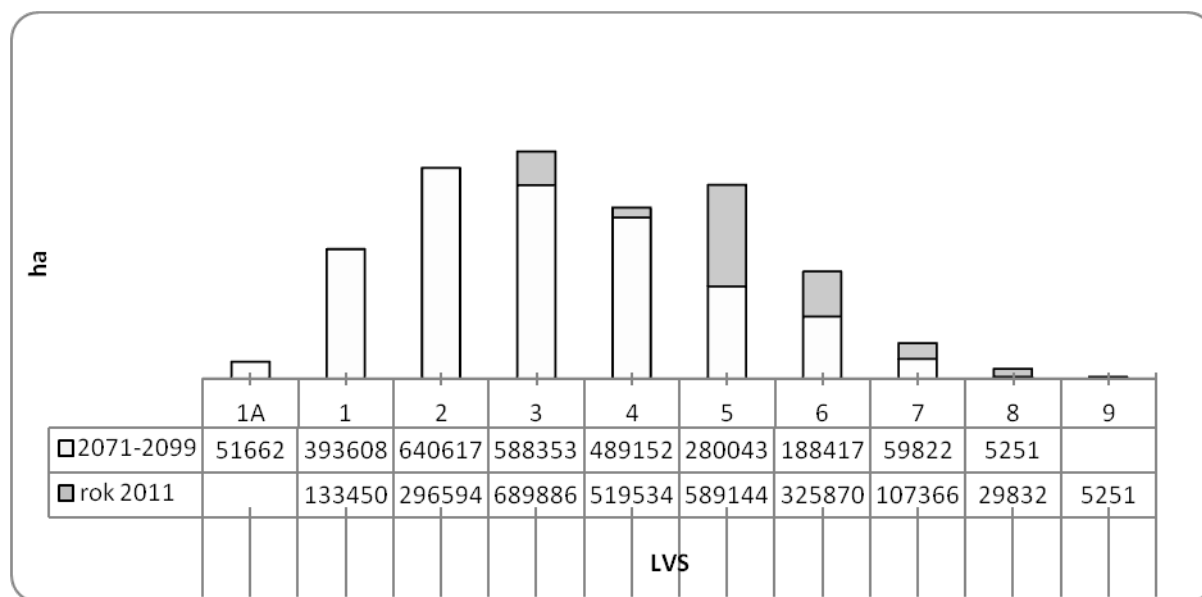


Graf 2: Průběh hodnot T30 dle LVS a období A – E.

Vlastní geneze globální klimatické změny na stresem zatížené ekosystémy je složitou záležitostí, zatím nedostatečně objasněnou. Především musí být jasno v tom, proč některé porosty na stejných stanovištních podmínkách hynou a jiné v odlišné PLO odolávají – jinak může dojít ke zcela zkresleným závěrům. Rozhodující roli hraje vedle makroklimatických podmínek zřejmě genetika porostu, vazba na ekotop a mezoklimatické podmínky. Takováto diferenciace musí být odložena konkrétními údaji o původnosti porostů, makroklimatu a mezoklimatu daného území. Důvodem je vzájemný synergismus stresových faktorů a jejich obtížná kontrolovatelnost, v jakém stádiu se ekosystém nachází. Je zřejmé, že odolnost dřevin významně ovlivňuje trofnost půdy (podloží, ale i příznivá humifikace vlivem příměsí listnáčů) a příznivé vlhkostní poměry v závislosti na obsahu a kvalitě humifikace, resp. mineralizace.

Obecně pak platí princip, že ve vyšších nadmořských výškách, tedy vyšších zonálních LVS je limitujícím faktorem teplota, srážek je relativní dostatek. V nižších polohách jsou naopak limitujícím faktorem převážně srážky. Negativní vliv zvýšené teploty se zde projevuje prostřednictvím zvýšené evapotranspirace. Čtvrtý LVS je možné obecně považovat za LVS se stejným vlivem teploty i srážek. Tudíž 4. LVS budeme považovat za rozmezí nárůstu

významu teploty a poklesu významu srážek směrem k vyšším stupňům a naopak nárůstu významu srážek a významu teploty směrem k nižším LVS.



Graf 3: Porovnání zastoupení LVS v roce 2011 a dle scénáře k roku 2071.

Zpracovaný scénář klimatické změny modelem ALADIN/CLIMATE.CZ /3, 4/ukazuje na náročnou aplikaci ve vazbě na ekotop a mezoklimatické podmínky. Především na úrovni nižších LVS 1 a 2. a naopak na hranici lesa 8 a 9 LVS. Protože nejsou dosud k dispozici exaktní podklady ani na úrovni modelů, budeme je považovat za anomálie charakterizující riziko z achování pods taty l esa. V souvislosti s vyhodnocením scénářem období E se vyskytuje anomálie ps eudozonální ve getace 1 LVS (ozn. 1A). D ruhová s kladba 1 LVS se podstatně nemění, lze doporučit vyšší zastoupení ceru. Významnější je dopad na zajištění kultur.

Zcela samostatným problémem je situace u azonálních společenstev, kde má rozhodující vliv změna charakteristik ekotopu. Především se jedná o azonální společenstva borů a luhů. Společenstva borů mají rozptyl od 2 LVS do 6 LVS, lužní pak 1–6 LVS. Na úrovni 7–9 LVS hr aje zásadní r oli ot ázka m ezoklimatu, z pravidla vr cholového f enoménu včetně vazby na ekotop, zejména zranitelnosti půdního sola (mělké půdy) a nelze tedy předpokládat zásadní zvýšení hranice lesa.

Zobecnění poznatků o dopadu klimatické změny na evropské lesy dospělo k tezi, že genetická variabilita převážné většiny hospodářských dřevin je širší než očekávaná změna klimatu /2/. Ovšem při současné úrovni intenzifikace a odpřírodnění lesní výroby v České republice není možné z dané premise vycházet. I když variabilita hospodářských dřevin je široká, ve významném měřítku jsou pěstovány na hranici své tolerance (zejména smrk), a proto i relativně malá změna klimatu může mít významné ekonomické důsledky.

LITERATURA

- /1/ Janouš, D. a kol.: Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesnictví. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., 2011: 19, (3 přílohy).
- /2/ Kellomaki, S., Karjalainen, T., Mohren, F., Lapvetelainen, T. (eds): Expert assessments on the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe. EFI Proceedings 34, 2004.
- /3/ Pretel J., a kol.: Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V). Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za období 2007–2011. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 2011.
- /4/ Štěpánek, P., Zahradníček, P., Skalák, P.: Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. Advances in Science and Research, 3, 2009: 23–26.

ZMENY DRUHOVÉHO ZLOŽENIA BYLINNÉHO POSCHODIA V ZIMNOM OBDOBÍ ROKOV 1987-2012

CHANGES IN SPECIES COMPOSITION OF HERB LAYER IN WINTER PERIODS 1987–2012

Jaroslav Kontriš, Oľga Kontrišová, Hana Ollerová, Andrea Zacharová

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, T. G. Masaryka 24, 960 53
Zvolen, Slovenská republika, olga.kontriso@gmail.com

Summary

During years 1987 - 2012 we studied the impact of the seven episodic winter but still quite warm episodes without snow on the herb layer represented by ass. *Carici pilosae* - *Fagetum* Oberd. 1957 and *Dentario bulbiferae* - *Fagetum* (Zlatník, 1935) Hartmann 1935 at Ecological Experimental Stationary (EES) Kremnické vrchy Mts. We studied condition of vegetation like variability in floristic composition, constancy, fidelity and ecological spectrum of temperature demands. Results show that the floristic spectrum of the winter season consists of 29 plant populations, which represents 50 % of the summer aspect. These species consist of indifferent, preferential and fixed plant species groups. According to eco spectrum, ass. *Carici pilosae* - *Fagetum* has more thermophilic nature than ass. *Dentario bulbiferae* - *Fagetum*. The results show that the floristic differentiation of plant communities depends on biotic factors related to the protection of recovery meristems, too.

Key words : submontane beech forests, winter season , phytocoenosis, eco spectrum

Súhrn

Počas r. 1987–2012 sme na Ekologickom experimentálnom stacionári (EES) Kremnické vrchy hodnotili vplyv siedmich epizodických bezsnehových oteplení na bylinnú synúziu as. *Carici pilosae*-*Fagetum* Oberd. 1957 a *Dentario bulbiferae*-*Fagetum* (Zlatník 1935) Hartmann 1935. Hodnotený bol stav vegetácie, t.j. variabilita floristického zloženia, konštantnosť, vernosť a ekologické spektrum teplota. Z pozorovania vyplýva, že floristické spektrum zimnej vegetačnej periódy pozostáva z 29 rastlinných populácií, t.j. cca 50% z letného aspektu. Z nich sa vygenerovala vernostná skupina indiferentných, preferenčných a pevných populácií. Podľa ekospektra má as. *Carici pilosae*-*Fagetum* teplomilnejší charakter ako as. *Dentario bulbiferae*-*Fagetum*. Z výsledkov vyplýva, že sa na floristickej diferenciácii fytocenóz podieľajú aj biotické faktory súvisiace s ochranou obnovovacích meristémov.

Kľúčové slová: submontánne bučiny, zimná perióda, fytocenológia, ekospektrum

ÚVOD

Roky 2013/2014 sú historickým medzníkom, kedy lesy okolo Zvolena nemali celú zimu snehovú pokrývku. Prvý raz sme pozorovali disociáciu úvisle zasneženého lesného prostredia bezsnehovou teplotnou singularitou v r. 1987 počas fytocenologického a pôdno-ekologického výskumu na Ekologickom experimentálnom stacionári (EES) Kremnické vrchy. Prvý raz sme pozorovali disociáciu úvisle zasneženého lesného prostredia ekologického výskumu na Ekologickom experimentálnom stacionári (EES) Kremnické vrchy. Kontinuálne s týmto sme sa zamerali aj na otázku, ako reagujú rastlinné populácie podhorských bučín na

tento, v tom čase pre nás fenomenálny stres prerušujúci prirodzenú fázu vegetačného klľudu. V doteraz publikovaných prácach / 6, 7, 8, 9, 10, 2, 3, 13, 14/ išlo o výsledky z kratších pozorovaní. Cieľom tohoto príspevku je podať sumárnu informáciu o stave vegetácie v zimnej vegetačnej perióde za 25-ročné obdobie.

PRÍRODNÉ POMERY

Ekologický experimentálny stacionár Ústavu ekológie lesa SAV Zvolen, v ktorom bol robený výskum sa nachádza v JZ časti Kremnických vrchov – Suchá dolina (40°37' S ZŠ, 19°04' VZD) v nadmorskej výške 450–510 m n.m. Orientácia reliéfu je východná so sklonom 30°. Úhrn zrážok je 857 mm. Priemerná teplota vo vegetačnom období predstavuje 13,1 °C. Geologické podložie je tvorené andezitovo tufovými aglomerátmi. Pôdy zastupuje kambizem andozemná. Vek lesa je 85–95 rokov so zakmenením 0,8–0,9 a dominantným druhom *Fagus sylvatica*.

MATERIÁL A METÓDY

Výskum a hodnotenie fytoocenóz bol robený tradičnými geobotanickými metódami /in 12/, s tupne ve mosti /in 15/, e kospektrum metódou ekologickéj profilácie /in 5, 1/. Názvy rastlín sú uvádzané podľa /11/.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Štruktúrne znaky fytoocenóz

Zimný aspekt je tvorený druhmi psychrotolerantnými, s pravidla s mezomorfnou a ž skleromorfnou konzistenciou listov. Takými druhmi sú v podhorských bučinách *Carex pilosa*, *Rubus hirtus*, *Galium odoratum*, *Poa nemoralis*, *Veronica officinalis*, *Carex digitata* a ďalšie. Zimný aspekt kvetnatých bučín je oproti letu výrazne ochudobnený aj absenciou fyziognomicky výrazných vysokých a širokolistých rastlín (*Athyrium filix-femina*, *Senecio fuchsii*, *Rubus idaeus*) a zníženou dominanciou spôsobenou mortalitou podstatnej časti „zimných“ fyziognomickotvorných populácií stálych druhov, ako sú *Galium odoratum*, *Carex digitata*, *Brachypodium sylvaticum*. Súčinne s týmito procesmi dochádza v zimnom období k všeobecnému zníženiu pokrývnosti bylinného poschodia do takej miery, že na niektorých exponovaných častiach majú kvetnaté bučiny charakter holých bučín.

Procesy formovania zimného vegetačného obdobia sú rovnako intenzívne aj v mezotrofných ostricových bučinách. Stimulované sú ale tým, že monodominantný a stály druh *Carex pilosa* má najvyššiu produkciu biomasy v jesenných mesiacoch. V dôsledku toho má aj v zimnom období s pravidla vyššiu vitalitu, a bundanciu a dominanciu ako v letných mesiacoch. V zimnom vegetačnom aspekte majú vyššiu dominanciu ako v lete aj druhy *Rubus hirtus*, *Sanicula europaea*, *Carex sylvatica*. Absolútnou dominanciou *Carex pilosa* nadobúdajú porasty týchto bučín parkový charakter.

Druhové zloženie podhorských bučín v tepelnej singuláre zimného vegetačného obdobia pozostáva z dvadsiatich deviatich rastlinných populácií. Z toho takmer dve tretiny (20) sa vyskytuje v oboch asociáciách. Rozdiely sú len vo výskyte druhov, ktoré majú z hľadiska syntaxonomického významu diferenciálnych druhov. Pre as. *Caricopilosae-Fagetum* sú to na pr. *Myosotis sylvatica*, *Melittis melissophyllum*, *Mycelis muralis* a pre *Dentario bulbiferae-Fagetum* *Veronica officinalis*, *Hypericum hirsutum*.

Počet druhov (29) zimného vegetačného obdobia je v porovnaní s fytocenózami opísanými z tohoto územia / 7/ ni žší približne o polovicu. Ide hlavne o druhy akcidentálne (*Festuca gigantea*, *Veronica chamaedrys*, *Campanula trachelium*), ojedinele aj o akcesorické, napr. *Scrophularia nodosa*, *Lathyrus vernus*, *Epilobium montanum*.

Tab. 1: Význačné druhy podhorských bučín v zimnom období r. 1987–2012

Asociácia	<i>Carici pilosae-Fagetum</i>								<i>Dentario bulbiferae-Fagetum</i>								
	30. 12. '87	1. 2. '90	9. 1. '98	14. 2. '07	25. 2. '10	7. 2. '11	2. 2. '12	K	30. 12. '87	1. 2. '90	9. 1. '98	14. 2. '07	25. 2. '10	7. 2. '11	2. 2. '12	K	T
Indiferentné druhy																	
<i>Carex pilosa</i>	3	2	5	4	4	4	3	V	2	+	.	1	2	1	1	V	6
<i>Rubus hirtus</i>	1	1	1	1	2	1	+	V	1	2	2	2	3	3	2	V	4
<i>Galium odoratum</i>	1	.	+	+	1	r	+	V	+	.	+	+	+	r	+	V	5
<i>Geum urbanum</i>	.	.	+	+	+	+	+	IV	.	+	+	+	+	+	+	V	5
<i>Tithymalus amygdaloides</i>	+	.	+	+	1	+	+	V	.	.	+	r	+	+	+	IV	5
<i>Carex sylvatica</i>	.	2	.	.	+	+	.	III	.	2	+	2	.	.	.	III	5
<i>Geranium robertianum</i>	+	+	.	.	.	.	.	II	+	.	+	.	.	.	.	II	x
<i>Moehringia trinervia</i>	+	.	.	.	.	.	.	I	+	.	.	.	.	.	.	I	5
<i>Poa nemoralis</i>	.	.	.	.	.	.	+	I	.	+	.	.	.	.	.	I	x
Preferenčné druhy																	
<i>Viola reichenbachiana</i>	+	+	+	r	1	+	+	V	+	+	1	.	.	.	.	III	x
<i>Ajuga reptans</i>	+	+	+	+	+	+	r	V	+	1	.	+	.	.	.	III	x
<i>Asarum europaeum</i>	+	+	1	+	+	r	+	V	.	1	.	.	.	.	.	I	6
<i>Sanicula europaea</i>	.	+	2	1	2	1	+	V	.	r	.	.	.	.	.	I	5
<i>Pulmonaria officinalis</i>	r	+	.	+	1	r	+	V	+	.	+	.	.	.	.	II	6
<i>Oxalis acetosella</i>	.	+	+	+	+	r	+	V	.	+	.	.	.	.	.	I	x
<i>Glechoma hirsuta</i>	.	1	.	1	1	1	+	IV	.	+	.	.	.	.	.	I	6
<i>Dryopteris filix-mas</i>	r	.	.	.	+	r	+	III	.	+	.	.	.	.	.	I	x
<i>Bromus ramosus</i>	.	+	+	+	.	.	+	III	.	+	1	.	.	.	.	II	6
<i>Cerex digitata</i>	1	.	.	.	1	+	+	III	+	+	2	2	1	1	1	V	x
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	.	.	.	.	+	+	.	II	.	+	.	.	+	+	+	III	5
Pevné druhy																	
<i>Myosotis sylvatica</i>	+	.	+	.	.	.	.	II	.	.	.	.	.	.	.	-	x
<i>Melittis melissophyllum</i>	.	+	.	.	.	.	+	II	.	.	.	.	.	.	.	-	7
<i>Mycelis muralis</i>	+	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	-	6
<i>Carex muricata</i>	.	.	r	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	-	6
<i>Lamiasrum galeobdolon</i>	.	.	r	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	-	5
<i>Veronica officinalis</i>	.	.	.	.	.	.	.	-	.	r	+	.	.	.	.	II	5
<i>Cirsium arvense</i>	.	.	.	.	.	.	.	-	.	+	.	.	.	.	+	II	5
<i>Fragaria vesca</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I	x
<i>Hypericum hirsutum</i>	.	.	.	.	.	.	.	-	.	+	.	.	.	.	.	I	6

K – konštantnosť, T – triedy ekologického faktora teplota

V priebehu r. 1987–2012 sa počet druhov v as. *Carici pilosae-Fagetum* výrazne nemenil. Mierne zvyšovanie z 14 na 17 druhov bolo takmer lineárne (Tab.1). K poklesu počtu druhov na 13 došlo iba v r. 1990 a 2007. Malá variabilita počtu rastlinných druhov sa prejavila aj v homotonite floristického zloženia, a to najmä od r. 2007. Pôukazuje na to aj

Rankierov zákon konštantnosti fytoocenologického súboru a to aj na priek tomu, resp. práve preto, že percentá konštantnosti prvej (20) a piatej kategórie (40%) sú v opačnej pozícii. V zubačkových bučinách je diagram konštantnosti blízky pomerom v letnom aspekte.

Asociácia *Dentario bulbiferae-Fagetum* mala v ofloristickom zložení pr iemerne 11 druhov, t.j. o štyri druhy menej, ako as. *Carici pilosae-Fagetum*. Až na r. 1990 s výskytom 18 druhov bola diferencia medzi rokmi relatívne malá. Od r. 1998 bola tendencia znižovania, resp. z vyšovania o jeden druh, a to v rozmedzí jedného druhu (8-7-8). Oproti as. *Carici pilosae-Fagetum* (od r. 1998) výrazne absentujú stále druhy preferenčné, patriace prevažne do piatej kategórie konštantnosti (*Viola r eichenbachiana*, *Sanicula europaea*, *P ulmonaria officinalis*, atď.), druhy pevné (*Myosotis sylvatica*, *Mycelis muralis*, atď.) a od r. 2007 aj indiferentné druhy *Carex sylvatica* a *Geranium robertianum*.

V zmysle Braun-Blanquetovho / in 12/ princípu hodnotenia syntaxonomickej významnosti druhov sme rastlinné populácie fytoceóz podhorských bučín EES Kremnické vrchy zaradili do vernostnej triedy indiferentných, preferenčných a do kategórie pevných druhov. Do skupiny indiferentných druhov sú zaradené taxóny, ktoré majú približne rovnakú stálosť, abundanciu a dominanciu v oboch asociáciách podhorských bučín. Podľa priemernej pokryvnosti má *Carex pilosa* väčšiu vitalitu v porastoch as. *Carici pilosae-Fagetum* a *Rubus hirtus* v as. *Dentario bulbiferae-Fagetum*. Až na *Moehringia trinervia* patria syntaxonomicky do triedy *Quercu-Fagetea* (*Poa nemoralis*), radu *Fagetalia* (*Tithymalus amygdaloides*, *Carex sylvatica*, *Geum urbanum*), väzu *Carpinion* (*Carex pilosa*) a väzu *Galio-Fagion* (*Galium odoratum*). Viac ako polovica z týchto druhov patrí v oboch spoločenstvách medzi stále druhy mezofílej a eutrofnej ekologickej konštitúcie a do druhého až šiesteho vegetačného stupňa.

Preferenčné druhy (9) sa vyskytujú prevažne v mezofilných ostricových bučinách, v menšom počte (2) v kvetnatých bučinách. V skupinách druhov preferujúcich jednu, aj druhú asociáciu prevládajú charakteristické druhy triedy *Quercu-Fagetea*. V druhovom zložení sú okrem druhov tejto triedy (*Viola r eichenbachiana*, *Asarum europaeum*, *Sanicula europaea*, *Dryopteris filix-mas*) s veľkou stálosťou (III.-V.) prítomné druhy teplomilnejších dubín (*Potentilla alba-Quercion* (*petraeae*) a ruderálnych syntaxónov, ako *Glechoma hirsuta* (*Glechometalia*), *Bromus ramosus* (*Epilobietea*). Ide o druhy mezofílné, alebo mezofilo-eutrofílné, rozšírené na čerstvo vlhkých až vlhkých stanovištiach druhého až piateho vegetačného stupňa.

Asociáciu *Dentario bulbiferae-Fagetum* preferujú iba *Carex digitata* a *Brachypodium sylvaticum*. Oba druhy sú charakteristické pre triedu *Quercu-Fagetea*. Pevné druhy ostricových bučín sú zastúpené prevažne druhmi rúbaniskovými (*Epilobietea* a nižšími syntaxónmi), ďalej ruderátnym druhom *Mycelis muralis* (*Senecion fluviatilis*), druhmi radu *Fagetalia* (*Lamiastrum galieobdolon*) a *Quercetalia pubescenti-petrae* (*Melittis melissophyllum*). Podobnú syntaxonomickú väzbu majú aj vernostne pevné druhy asociácie *Dentario bulbiferae-Fagetum*. Okrem nitrofilných druhov sa v tejto skupine vyskytuje aj jeden druh (*Veronica officinalis*) oligotrofných bučín (*Luzulo-Fagion*) a smrečín (*Vaccinio-Piceion*).

Ekospektrum faktora teplota (Tab. 2)

Z dvadsiatichtiev dviach druhov má pre ekofaktor teplota indiferentný význam (trieda x) deväť druhov. Až na *Viola r eichenbachiana* a *Ajuga reptans* ide o druhy s malou pokryvnosťou a stálosťou. Bioindikátorom tepla (trieda 7) je len *Melittis melissophyllum*.

Vyskytoval sa iba v as. *Carici pilosae-Fagetum* v r. 1990a 2012. Jediným indikátorom chladu až mierneho tepla (trieda 4) je v oboch asociáciách stály, vernostne indiferentný druh *Rubus hirtus*. V as. *Carici pilosae-Fagetum* je podiel indikátorov mierneho tepla až tepla 7,5-krát vyšší, ako indikátorov mierneho tepla. V r. 1987, 2007–2012 bol rozdiel v podieloch 12 a ž 31-krát v yšší. V letnom období j e r ozdiel pomerov t ýchto t ried faktora 1,3 -násobný v prospech i ndikátorov mierneho t epla (trieda 5). N a bi oindikácii t ýchto dvoch t ried s a podieľalo 14 populácií rastlín všetkých vernostných kategórií.

Tab. 2: Ekospektrum teploty zimného vegetačného obdobia

Asociácia <i>Carici pilosae-Fagetum</i>															leto	
Dátum	30.12. 1987		1.2. 1990		9.1. 1998		14.2. 2007		25.2. 2010		7.2. 2011		2.2. 2012		31.5. 1987	
T	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
4	1	4,5	1	6,9	1	1,9	1	2,8	1	10,3	1	2,8	1	1	2	4,7
5	3	6,8	2	27,3	5	12,8	5	5,1	6	18,8	6	6	4	3	14	54
6	4	88,3	5	64,9	4	85,3	5	92,1	4	70,9	4	91,2	5	95	12	41
7	-	-	1	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	0,2
Σ	8	100	9	100	9	100	11	100	11	100	11	100	13	100	29	100
Asociácia <i>Dentario bulbiferae-Fagetum</i>																
4	1	11,4	1	44,8	1	78,6	1	46	1	60,4	1	84,7	11	227,5	1	12,1
5	1	2,8	5	37,7	4	11,2	4	40,2	4	3	4	5,3	5	11,6	16	84
6	1	85,8	5	17,5	2	10,2	1	13,8	1	36,6	1	10	1	20,5	8	3,4
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,4
Σ	3	100	11	100	7	100	6	100	6	100	6	100	7	100	26	100

T – trieda ekologického faktora, N – počet druhov v triede, % - podiel ekospektra, indikátory ekologickém triedy: 4 – chladu až mierneho tepla, 5 – mierneho tepla, 6 – mierneho tepla až tepla, 7 – tepla

Na rozdiel od predchádzajúcej asociácie chýbajú vo floristickom zložení zubačkových bučín druhy ekologickej triedy 7 (indikátory tepla). Podobne ako v ostricových bučínach aj v kvetnatých bučínach je jediným indikátorom chladu až mierneho tepla (trieda 4) *Rubus hirtus*. Jeho indikačná hodnota je v porovnaní s mezofilnými bučínami v priemere 13-krát vyššia. V r. 1987, 2002, 2011, 2012 boli rozdiely 41- až 61-násobné. V kvetnatých bučínach je priemerná hodnota tejto triedy (56 %) 3,5-krát v yššia ako hodnota indikátorov mierneho tepla (16 %) a 2,1-krát vyššia ako hodnota (podiel) indikátorov mierneho tepla až tepla (27 %). V letnom aspekte majú najvyššiu hodnotu (89 %) populácie indikujúce mierne teplo, čo je 5,5-krát v iac ak o v zimnom období . Paradoxom j e, ž e v zimnom období j e hodnota indikátorov mierneho t epla opr oti l etnému obdo biu 8 -krát vyššia. Zvláštnosťou v zimnom aspekte je aj skutočnosť, že hodnoty tried sa nezvyšujú podľa gradienta tried ekologického faktora, tak ako je to v prípade mezotrofných ostricových bučín.

LITERATÚRA

- /1/ Ellenberg, H., et al.: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Verlag Erich Goltze KG, Göttingen, 1992: 258.
- /2/ Gregor, J., Kontriš, J., Kontrišová, O.: Vplyv vlhkosti pôdy na vegetáciu. In: Bublinec, E., Gregor, J. (ed.): Problémy geológie, bioklimatológie a pedológie v súčasných prírodných podmienkach. LF TU Zvolen, ÚEL SAV Zvolen, 1995: 29–34.
- /3/ Gregor, J., Kontriš, J., Tužinský, L., Soroková, M.: Vlhkosť pôdy rizosféry bylín podhorských bučín v beznehovej s inguláre zi mnej vegetačnej periódy. In: Bublinec, E., Kontrišová, O. (ed.):

- Monitorovanie a hodnotenie stavu životného prostredia. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 2000: 101–108.
- /4/ Hajdúk, J., Bernátová, D., Kliment, J.: Zoznam rastlín s perzistentnými živými listami cez zimné obdobie. In: Zborník referátov IV. Zjazdu SBS Nitra. SBS Bratislava, 1984: 375–381.
- /5/ Jurko, A.: Ekologické a socioekonomické hodnotenie vegetácie. Príroda, Bratislava, 1990: 195.
- /6/ Kontrišová, O., Kontriš, J., 1994: Vývin rastlinných populácií asociácie *Carici pilosae-Fagetum* v zimnom období. In: Eliáš, P. (ed.): Populačná biológia rastlín III. SEKOS pri SAV, Bratislava, 1994: 56–59.
- /7/ Kontrišová, O., Kontriš, J., Jelír, J., Kováčová, M.: Vplyv mikroklimatických faktorov na životné prejavy rastlinných populácií podhorských bučín. In: Bublinc, E., Gregor, J. (ed.): Problémy geológie, bioklimatológie a pedológie v súčasných prírodných podmienkach. LF TU Zvolen, ÚEL SAV Zvolen, 1995: 65–70.
- /8/ Kontriš, J., Kontrišová, O., Gregor, J.: Die Ergebnisse der phytozoologischen Erforschung auf dem Gebiet Kremnické vrchy. Acta Facultatis Ecologiae, Zvolen, 2, 1995: 153–167.
- /9/ Kontriš, J., Gregor, J., Tužinský, L., Bublinc, E., Kontrišová, O., Pichler, V., Soroková, M.: Temperature and soil moisture dynamics in rhizosphere of submountain beech in warm season of winter vegetation period. *Silva Balcanica*, 2 (1), 2004: 59–63.
- /10/ Kontriš, J., Kontrišová, O., Pichler, V., Gregor, J., Soroková, M., Bublinc, E., Rudaš, B.: Herb species qualitative characteristics relations towards variability of dominant site factors in submountain beech forest of the western Carpathians. *Silva Balcanica* 4 (1), 2004: 95–101.
- /11/ Marhold, K., Hindák, F. 1998: Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska. Veda SAV, Bratislava: 687.
- /12/ Moravec, J. (ed.): Fytocenologie. Academia Praha, 1994: 403.
- /13/ Pichler, V., Gregor, J., Kontriš, J., Soroková, M.: Vertical edaphotop differentiation during dry weather periods. *Folia oecologica* 30 (2), 2003: 207–2012.
- /14/ Schieber, B.: Životné prejavy populácií trvácich bylín v podhorskej bučine v zimnom období. In: Eliáš, P. (ed.): Populačná biológia rastlín VI. Nitra, SEKOS pri SAV, Bratislava, 2000: 46–79.
- /15/ Braun-Blanquet, J.: Pflanzensozologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl. Springer Verlag, Wien et New York, 1964: 866.

PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory výskumného projektu VEGA 1/1275/12.

PŘÍSPĚVEK K MAPOVÁNÍ PLASTICITY U JEŽATKY KUŘÍ NOHY (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) V SOLÍ KONTAMINOVANÉ PŮDĚ

CONTRIBUTION TO THE PLASTICITY OF BARNYARDGRASS (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB) IN THE SALT CONTAMINATED SOIL

Božena Šerá^{1,2}, Iveta Gajdová², Markéta Nováková²

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

²Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, Česká republika

Summary

Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB) is one of the major weeds, growing especially in the warmer parts of our country. This species was repeatedly found about different types of communications during a research of vegetation along roads and highways. Probably, the species has wide niche that allows it to exist even in adverse conditions, e.g. salt-contaminated area along roads. The aim of the study was to confirm that barnyardgrass can grow successfully in the salted substrate and how concentration of NaCl may inhibit its growth. Growing tests were carried out in a cultivate room on young plants which were grown in standard soil substrate with added sodium chloride (NaCl: 0.00 %, 0.12 %, 0.25%, 0.50%, 0.99 %, 1.96 %). The study found a successful growth of under- and aboveground biomass in substrates with lower concentrations of NaCl (to 0.50 %). In the substrate from concentration of 0.99 % a significant decrease of dry biomass and production of both under- and aboveground organs were found. Plant growth under different salinity stress is discussed in more detail in the text.

Key words: barnyardgrass, halophytic species, weed, NaCl, stress

Souhrn

Ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) patří mezi významné plevely okopanin především v teplejších částech našeho státu. Při výzkumu vegetace rostoucí kolem silnic a dálnic byl tento druh opakovaně nacházen kolem různých typů komunikací. Druh má pravděpodobně širokou niku, která umožňuje jeho růst i v nepříznivých podmínkách solí kontaminovaných okolí silnic. Cílem práce bylo potvrdit, že ježatka kuří noha může úspěšně růst v zasoleném substrátu a také stanovit, jaká koncentrace solí je pro její růst inhibující. Testy v růstové místnosti probíhaly na mladých rostlinách, které byly pěstovány ve standardním půdním substrátu s přidaným chloridem sodným (NaCl: 0,12 %, 0,25 %, 0,50 %, 0,99 %, 1,96%). Testy prokázaly úspěšný nárůst podzemní i nadzemní biomasy u substrátů s koncentrací NaCl nižší nebo rovno 0,99 %. U koncentrace 1,96 % byl zjištěn významný pokles v přírůstcích a v tvorbě biomasy jak podzemních tak nadzemních orgánů. Růst rostlin pod různým stresem zasolení je blíže diskutován v textu.

Klíčová slova: halofytní druh, ježatka kuří noha, plevel, NaCl, stres

ÚVOD

Ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) je celosvětově rozšířeným plevelem pocházejícím pravděpodobně z tropické Asie, kde doprovází hlavně rýži /1/. Rostlina

je jednoroký plevel, který se v našich podmínkách vyskytuje především v okopaninách, kukuřici a zelenině. Také významně zapleveluje pozdně jarní výsevy kulturních travníků, přičemž úspěšně konkuruje vzcházejícím travním druhům. Sledovaný druh koncem léta zastavuje svůj růst a během podzimu z porostu vymizí. Vyskytuje se v nížinách až pahorkatinách, nejhojněji v teplejších oblastech /2/.

Ježatka kuří noha je úporný pozdně jarní plevel a k jeho inhibici je nutno dodržovat agrotechnické postupy /3/. Jeho likvidace v polních kulturách se neobejde bez použití herbicidů, avšak na některé herbicidy si ježatka již vytvořila odolnost /4/. Ježatka kuří noha patří pravděpodobně mezi druhy s výraznou schopností přizpůsobit se různým podmínkám stanoviště a snášet stres. Rostlina se rozmnožuje generativně. Produkce obilky z jednoho metru porostu je více jak 145 t isic /5/, což také podporuje její šířitelnost a odolnost coby plevele. Obilky jsou rozšiřovány špatně čištěným osivem, zemědělskou technikou, kompostem.

Ježatka kuří noha patří mezi invazivní archeofyty naší současné flóry /6/. V posledních letech je častěji nacházena i v chladnějších oblastech státu a na nezemědělské půdě /7/. Při výzkumu vegetace rostoucí kolem silnic byl výskyt tohoto druhu opakovaně zaznamenáván a to podél všech typů sledovaných komunikací /8, 9/. Příkopy a škarpy kolem silnic jsou vhodným habitatem pro rostliny, které jsou náročné na půdní živiny /10/. Pokud má tento druh jednak vlastnosti úporného plevele a zároveň je méně citlivý na půdní salinitu, potom komunikace mohou sloužit jako vektor k jeho snadnějšímu šíření na další stanoviště.

Cílem této práce bylo zjistit stupeň tolerance ježatky kuří nohy vůči různému stupni zasolení půdního substrátu a potvrdit, že se jedná o druh tolerantní vůči NaCl v půdě.

MATERIÁL A METODY

Manipulativní pokusy s rostlinami ježatky kuří nohy probíhaly v kultivační místnosti s nastavitelným režimem. Design pokusu byl stejný jako u předchozích zavedených měření (viz rosička krvavá, /11, 12/). K pěstování byly použity plastové květináče o rozměrech 4x4x6 cm, do kterých byl umístěn filtrační papír a 60 ml půdní směsi složené z běžného zahradního substrátu a písku v poměru 2:1. Výsledná půdní směs byla proseta sítím o rozměru ok 3x3 mm. Pro každou variantu zasolení bylo uvedeným způsobem připraveno celkem 144 květináčů, které vyplnily jeden zavlažovací zásobník.

Semenáčky nepoškozených a zcela vitálních rostlin ježatky kuří nohy pocházely z bezprostředního okolí Českých Budějovic a byly jednotlivě zasazeny do připravených květináčů (věk rostlin cca 14 dnů). Poté co se semenáčky ujaly (10 dnů), došlo k zalití roztokem NaCl, a to v množství 20 ml/květináč (celkem 1 l roztoku na jeden zavlažovací zásobník). Hodnoty koncentrací roztoku NaCl a značení sad byly: K 0 %, A 0,12 %, B 0,25 %, C 0,50 %, D 0,99 % a E 1,96 %. Kontaminace solným roztokem byla provedena pouze jednou (5 dnů po zakořenění semenáčků, tj 3 dny před měřením, data viz Obr. 1). Po dobu kultivace (cca jeden měsíc) byly rostliny zalévány přes zavlažovací zásobník stejným množstvím odstáté čisté vody.

Pro jednotlivá měření (destruktivní charakter) bylo vždy použito 12 rostlin. Byly sledovány tyto charakteristiky: délka a hmotnost nadzemních a podzemních částí rostliny. Zjištěná data byla statisticky vyhodnocena jednofaktorovou analýzou variace (ANOVA). Nomenklatura je sjednocena dle botanického klíče /13/.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Časový průběh

Křivky průměrných hodnot znázorňující hmotnost biomasy během kultivace pod stresem zasolení mají zdnalivě neuspořádaný charakter (Obr. 1a–1c). Při důkladnější analýze lze vysledovat několik zákonitostí, kterými lze popsat reakci biomasy v čase. Křivky znázorňující procentuální hodnotu sušiny kořenů u ošetřených sad mají obdobný průběh jako

křivky popisující sušinu nadzemních částí. Tedy např. křivky sušiny kořenů a nadzemních částí u rostlin rostoucích v substrátu s 0,50 % NaCl (sada C) jsou si podobné (Obr. 1a, 1b). Vztah celkové reakce rostliny (z hlediska biomasy) vzhledem ke kontrolnímu vzorku je dobře vidět na Obr. 1c.

Z pozorovaných reakcí rostlin na různou koncentraci zasolení (vzorky A–E) v čase lze popsat a stanovit těchto pět „zákonitostí“:

- I. A: vyrovnané množství biomasy, tendence investovat více do kořenů
- II. B, C, D, E: krátkodobé zvýhodnění nadzemní biomasy na začátku pokusu
- III. B, C: snaha o vyrovnané množství biomasy (křivka R/S poměru osciluje kolem kontroly)
- IV. D: „rozkolísaná reakce“, v ýrazné ztráty biomasy u nadzemních i podzemních částí rostlin, zjevně inhibující koncentrace soli (0,99 % NaCl)
- V. E: velmi inhibující reakce, destruktivní následky lze pozorovat od prvních dnů po aplikaci NaCl

První reakcí na kontaminaci byla ztráta části kořenového aparátu (pozorováno u všech zasolených substrátů), která byla u rostlin s nižší mírou zasolení (sady A–C, tj. 0,12–0,50 % NaCl v substrátu) postupně úspěšně nahrazena.

Měření na konci kultivace

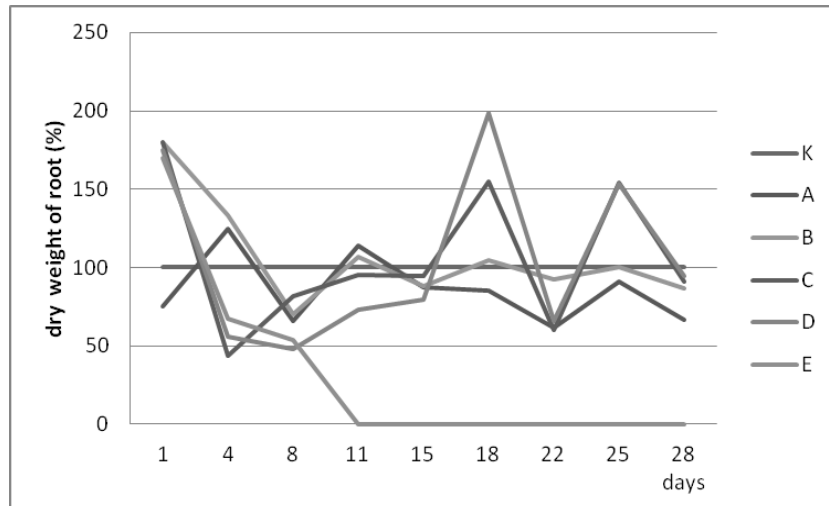
Kultivace rostlin byla ukončena v době, kdy začalo být zjevné, že rostliny ze sady D jsou inhibovány natolik, že začínají odumírat. Porovnání hmotností nadzemních a podzemních částí, včetně R/S poměru je znázorněno na Obr. 2a–2c. U všech sad rostlin (mimo E – tam již odumřelé rostliny) bylo zaznamenáno snížení hmotnosti sušiny u kořenů i nadzemních částí v porovnání s kontrolou (Obr. 2a, 2b). Přes toto snížení hmotnosti biomasy je zjevné, že rostliny „nešetřily“ na investování do kořenů, nebo do jejich zachování (Obr. 2c). Investice do kořenového systému je jednou z reakcí rostlin na mírný stres /14/.

Výsledky experimentu ukazují, že koncentrace 0,99 % a 1,97 % NaCl v substrátu vedly k výrazné inhibici růstu nebo k rychlému odumření ježatky kuří nohy. Přesto lze konstatovat, že tento druh je do určité míry tolerantní vůči chloridu sodnému obsaženému v půdním substrátu. Bylo totiž zjištěno, že zasolení půdy o koncentracích 0,12 % a 0,25 % NaCl v zásadě neomezilo růst a vývoj tohoto druhu.

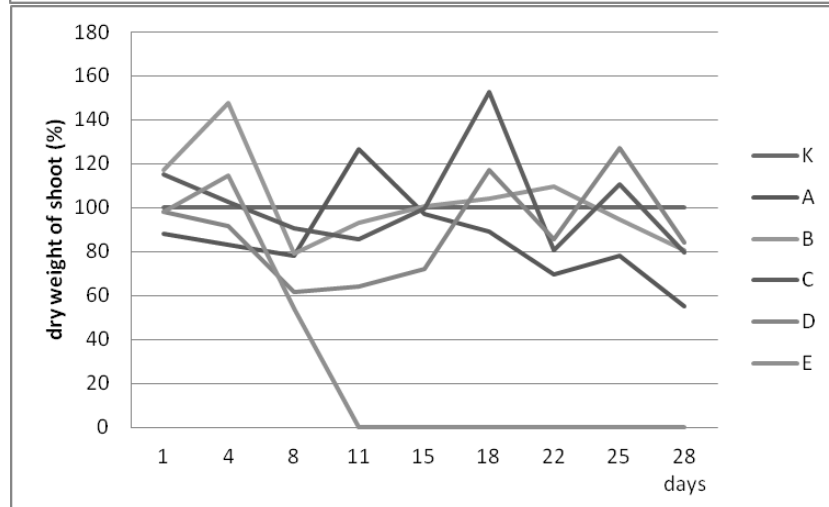
U pozorovaných rostlin byla první reakce na kontaminaci ztráta části kořenového aparátu (pozorováno u všech zasolených substrátů), která byla u rostlin s nižší mírou zasolení (0,12–0,50 % NaCl) úspěšně nahrazena. U rostlin rostoucích v kontaminované půdě měly rostliny menší hmotnost nadzemních i podzemních orgánů a zároveň měly vyšší hodnoty R/S poměru. Rostliny se snažily kontaminaci půdy saturovat investicí do kořenového systému.

Tyto výsledky potvrzují, že ježatka kuří noha je tolerantní vůči chloridu sodnému v půdě. Ke svému růstu nevyžaduje zasolenou půdu, přesto v ní dokáže úspěšně růst. Okolí silnic tak může být habitatem, který usnadňuje šíření tohoto druhu v krajině.

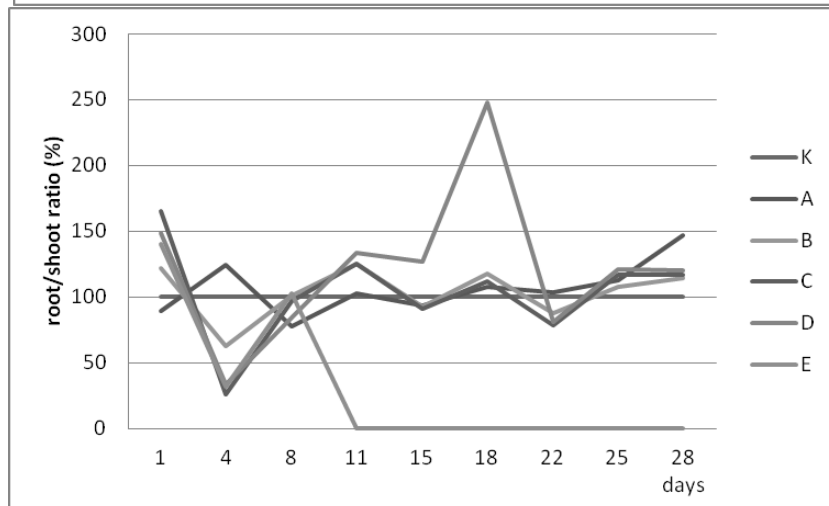
1a



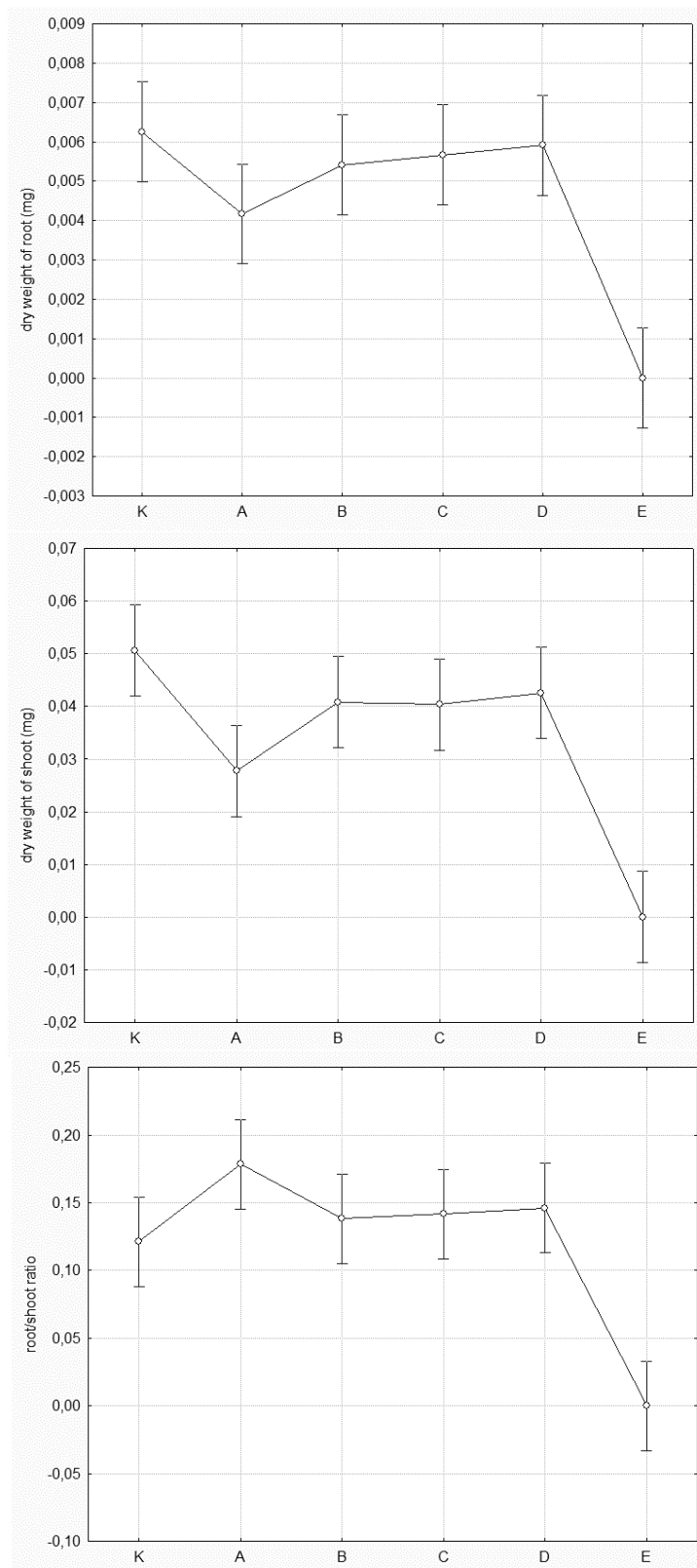
1b



1c



Obr. 1: Procentuální vyjádření hmotností sušiny podzemních částí (a), nadzemních částí (b) a poměr sušiny root/shoot (c) u rostliny ježatka kuří noha ve významných dnech experimentu rostoucí v různě zasolených substrátech (koncentrace NaCl: K – 0,00 %, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %).



Obr. 2: Průměrné hmotnosti sušiny podzemních částí (a), nadzemních částí (b) a poměr sušiny root/shoot (c) u rostliny ječatka kuří noha poslední den pokusu (28. den) rostoucí v různě zasolených substrátech (koncentrace NaCl: K – 0,00 %, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %).

LITERATURA

- /1/ Hrouda, L.: Trávy a jejich příbuzní napříč bioty IV. Trávy střední Evropy: všudypřítomné i nejnějnější. Živa, 2010, 158–161.
- /2/ http://www.agrostis.cz/kapesni-atlas-trav/jezatka-kuri-noha-echinochloa-crus_galli-lpb, 5. 4. 2014 .
- /3/ Mikulka, J., Kneifelová, M., Martinková, Z., Soukup, J., Uhlík, J.: Plevelné rostliny. Profi Press, Praha, 2005.
- /4/ Hamouzová, K., Salava, J., Soukup, J., Chodová, D. Košnarová, P.: Weed resistance to herbicides in the Czech Republic: History, occurrence, detection and management. In: Herbicides. Mechanisms and Mode of Action. Open Access Publisher, Rijeka, Croatia, 2011: 83–102.
- /5/ Šerá, B., Šerý, M.: Relation between number and weight of seeds and reproductive strategies in herbaceous plants. Folia Geobotanica, 2004, 39: 27–40.
- /6/ Pýšek, P., Danihelka, J., Šádlo, J., Chrtěk, J. Jr., Chytrý, M., Jarošík, V., Kaplan, Z., Krahulec, F., Moravcová, L., Pergl, J., Štajerová, K., Tichý, L.: Catalogue of alien plants of the Czech Republic (2nd edition): checklist update, taxonomic diversity and invasion patterns. Preslia, 2012, 84: 155–255.
- /7/ Slavíková-Holcová, L., Mikulka, J.: Rezistentní plevel v České republice ježatka kuří noha – *Echinochloa crus-galli*. Agromanuál, 2009, 4 (9–10): 22.
- /8/ Šerá, B.: Roadsides function as halophyte habitats in the landscape. In: Adamec, Jandová (eds): Transport, health and environment, IV Czech-Slovak Scientific Conference, Blansko, November 2–3, 2010. Transport Research Centre, Brno, 2010: 149–154.
- /9/ Šerá, B.: Stress tolerant plant species spread in the road-net. Ecological Questions, 2011, 14: 45–46.
- /10/ Akbar, K.F., Hale, W.H.G., Šerá, B., Ashraf, I.: Phytometric assessment of fertility of roadside soils and its relationship with major nutrients. Polish Journal of Environmental Studies, 21 (5), 2012: 1141–1145.
- /11/ Nováková, M., Gajdová, I., Šerá, B.: Nárůst biomasy u rosičky krvavé (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) v soli kontaminované půdě – skleníkový experiment. In: Hnilička, F. (ed.): Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011. ČZU, Praha, 2012: 227–230.
- /12/ Šerá, B., Hrušková, I., Nováková, M.: Response of the *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop to the soil salinity – a greenhouse experiment. Ecological Question, 2011, 14: 39–40.
- /13/ Kubát, K., Hrouda, L., Chrtěk, J. jun., Kaplan, Z., Kirschner, J., Štěpánek, J. (ed.): Klíč ke květeně České republiky. Academia, Praha, 2002.
- /14/ Mohr, H., Schopfer, P.: Plant Physiology. Springer-Verlag, Berlin-New York, 1995.

Poděkování

Tato práce je jedním z výsledků mezinárodní spolupráce COST Akce FA0901 a byla finančně podpořena grantem MŠMT č. OC 10032.

VLIV RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ HOSPODAŘENÍ NA PŮDĚ NA BIODIVERZITU HMYZU V TRAVNÍCH A JETELOVÝCH POROSTECH

INFLUENCE OF DIFFERENT METHODS OF SOIL MANAGEMENT ON BIODIVERSITY OF INSECTS IN THE GRASS AND CLOVER CROPS

Jan Frydrych¹, Pavla Volková¹, Bohumír Čagaš¹, Pavel Kolařík², Jiří Rotrekl², Miroslav Barták³

¹OSEVA vývoj a výzkum s. r. o., Hamerská 698, 756 54 Zubří, Česká republika, frydrych@oseva.cz

²Zemědělský výzkum, spol. s r. o. Troubsko, Zahradní 1, 644 41 Troubsko, kolarik@vupt.cz, ³Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra zoologie a rybářství, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, vbartak@af.czu.cz

Summary

In the years 2008–2011 were monitored and compared these systems: mulched and not mulched grass stand, spontaneous fallow, ecological and intensive system of grassland management. For monitoring of insects in the period 2008–2011 were selected two stations in not mulched and mulched permanent grassland habitats in Střítež nad Bečvou. Higher values of all indices of diversity are in the mulched sites. A completely new finding is detecting fewer true bugs in the mulched grass stand compared to the not mulched one. To determine the effect of mulching on the occurrence of true bugs and silvertop in grassland experiment was established with *Festuca rubra* at the station in Zubří. New finding is also detecting the effect of increasing intensity of mulching to reduce the occurrence of true bugs in the grass stand. In 2013 was published a new methodology which provides us new results and findings of the biodiversity of insects in lawns and clover grass that require innovative and significantly enrich the examined field.

Key words: grassland, mulching, biodiversity, insects, methodology

Souhrn

V letech 2008–2011 byly sledovány a porovnávány tyto systémy: mulčovaný a nemulčovaný travní porost, spontánní úhor, ekologický a intenzivní systém obhospodařování travních porostů. Pro monitoring hmyzu v letech 2008–2011 byly vybrány dvě stanoviště na nemulčovaném a mulčovaném trvalém travním porostu na stanovišti ve Stříteži nad Bečvou. Vyšší počet jedinců i *morphospecies* byl zjištěn u mulčovaného systému oproti nemulčovanému. Vyšší hodnoty u všech indexů diverzity jsou na mulčovaném stanovišti. Zcela novým poznatkem je zjištění menšího počtu ploštic v mulčovaném travním porostu oproti nemulčovanému. Novým poznatkem je rovněž zjištění vlivu zvýšení intenzity mulčování na snížení výskytu ploštic v travním porostu. V roce 2013 byla vydána metodika, která uvádí nové výsledky a poznatky v oblasti biodiverzity hmyzu v travách a jetelovinách, které jsou zcela novátorské a významným způsobem obohacují daný obor.

Klíčová slova: travní porost, mulčování, biodiverzita, hmyz, metodika

ÚVOD

Zemědělství a biodiverzita jsou vzájemně propojeny. Vzájemné vztahy mezi zemědělstvím a biodiverzitou jsou v současnosti velmi málo známy a vytváří významnou oblast pro výzkumnou činnost. Celoevropským problémem je využití milionů hektarů neobhospodařované zemědělské půdy. V této oblasti se nabízí mnoho možností pro agroekologii. Prioritou je pro farmáře obhospodařovat krajinu, přírodu a historické hodnoty dané oblastí s ochrannými aspekty v závislosti na farmářské praxi s důrazem na zmíněné priority. V rozhodnutí I V/6 navrhl „Konvence o biologické diverzitě“ (1998) vládám účastnických zemí, soukromému sektoru a nevládním organizacím, aby spojili své úsilí a podpořili udržitelné zemědělství. K tomuto účelu identifikovala konference řadu opatření, která by mohla být přijata k tomu, aby se zlepšil vztah mezi zemědělstvím a biodiverzitou. Jedním z cílů je zvýšení biodiverzity. Dalším cílem je určení klíčových složek biodiverzity v zemědělských produkčních systémech, monitorovat a ocenit vliv různých zemědělských praktik na divoce žijící biodiverzitu a přizpůsobit zemědělské praktiky k dosažení žádoucích úrovní biodiverzity /7/.

OSEVA vývoj a výzkum s.r.o. v Zubří ve spolupráci s Českou zemědělskou univerzitou v Praze a Zemědělským výzkumem s.r.o. v Troubsku řešila projekt „Ovlivňování biodiverzity hmyzu v krajině různými způsoby zemědělského využití půdy a zemědělskými technologiemi se zaměřením na škůdce trav a jetelovin a jejich bioregulátory“. Cílem projektu byl monitoring a reliability hmyzu v rozdílných způsobech zemědělského využívání půdy a zemědělských technologiích se zaměřením na variabilitu hmyzích škůdců a jejich bioregulátorů v travních a jetelovinových porostech. Tento projekt odpočívá od elkového záměru monitorovat vzájemné souvislosti mezi biodiverzitou a zemědělstvím v evropském měřítku. V projektu byly srovnávány různé systémy hospodaření u travních porostů a jetelovin v současnosti. V letech 2008–2011 byly sledovány a porovnávány tyto systémy u travních porostů: mulčovaný a nemulčovaný systém, spontánní úhor, ekologický a intenzivní systém obhospodařování travních porostů. U jetelovin byly srovnávány porosty vojtěšky založené minimalizací a orbou. Současně byl srovnán ekologický a intenzivní systém hospodaření u vojtěšky.

Mulčování u travních porostů jako jeden ze systémů ošetření ovlivňuje mnohé vlastnosti půdy (udržuje půdní vlhkost, snižuje erozi, dodává živiny, potlačuje plevele a klíčení semen, snižuje teplotní extrém, a poskytuje kryt pro mnoho živočichů). Součástí projektu byl i výzkum a reliability hmyzu na travních porostech, kde se provádí mulčování. V publikaci jsou uvedeny výsledky u stanoviště travního porostu s ekologickým systémem hospodaření a mulčováním a srovnány s porostem sklizeným na seno a senáž /6/.

V publikaci jsou rovněž výsledky pokusu s vlivem mulčování na výskyt běloklasosti a klopušky hnědožluté u kostřavy červené v ekologickém systému pěstování.

Významnými škůdci v travních a jetelových porostech jsou ploštice, zejména zástupci čeledi *Miridae* – klopuškovité. Původcem běloklasosti, významné choroby trav pěstovaných na seno, je klopuška hnědožlutá (*Leptopterna dolabrata*), hmyz z podřádu *Heteroptera* – ploštice, čeledi *Miridae* – klopuškovité.

Škody způsobované tímto onemocněním nabyly významu s postupně se zvyšujícím množstvím ploch trav s víceletým využitím. V 60. letech 20. století dosáhlo poškození kalamitního charakteru. Toto onemocnění je druhově specifické a napadá výhradně pěstované druhy rodu *Poa*, *Agrostis*, dále např. druhy *Festuca pratensis*, *F. rubra* a *F. ovina*, *Trisetum flavescens*, *Cynosurus cristatus* a některé další méně významné travní druhy. Se stářím porostu se intenzita napadení zvyšuje. Typickým projevem choroby je zcela odumřelé, slámovitě zabarvené a „berlicovitě“ zahnuté stéblo. Celá květní lata je odumřelá (hluchá), konec stébla (po oddělení od bazální části) má charakteristické zaškrčení s bělavým povlakem, kde se často nachází mycelium houby *Fusarium poae*. Na rozdíl od starších údajů, kdy jako původci byli označováni roztoči *Siteroptes graminum* a *Steneotarsonemus spirifex*,

bylo zjištěno, že primárním a nejzávažnějším původcem u nás je klopouška hnědožlutá /4, 9/, která nabodává stéblo v období od sloupkování do metání a svými toxiny za spolupůsobení fusaria způsobuje odumření fertilního stébla. Následkem tohoto onemocnění fertilního stébla trav dochází zejména k přímým ztrátám na výnosu semen.

MATERIÁL A METODA

Charakteristika stanovišť pro monitoring hmyzu

Lokalita – Stráž nad Bečvou – louka využitá pro sklizeň sena a senáže

Z hlediska způsobu obhospodařování se jedná o systém obhospodařování sečením a odvoz hmoty z trvalého travního porostu. V systému nejsou zařazeny hnojiva ani pesticidy. Louka se sklízí za rok 2-3krát. Tento systém hospodaření na stanovišti převládá již více jak deset let. Topografické údaje lokality jsou souřadnice N 49°27'12,2", E 18°02'40,8", nadmořská výška je 425 m.

Lokalita – Stráž nad Bečvou – mulčovaná louka

Z hlediska způsobu obhospodařování se jedná o systém mulčování a ponechání hmoty z trvalého travního porostu na stanovišti. V systému nejsou zařazeny hnojiva ani pesticidy. Louka se mulčuje 2krát za rok. Tento systém hospodaření na stanovišti převládá již více jak čtyři roky. Topografické údaje lokality jsou souřadnice N 49°27'11,9", E 18°02'38,3", nadmořská výška je 424 m.

Na stanovištích byly instalovány emergentní lapáky (jeden lapák na každé lokalitě) a odebírány vzorky hmyzu ve vegetačním období v průběhu let (2008–2011). Sběry probíhaly jednou měsíčně. Veškerý materiál členovců ze všech vzorků z emergentních lapáků byl vyhodnocen metodou *morfospecies*. Do úrovně druhů byli určeni jedinci skupin: plošnice, pavouci, střevlíkovití, brouci a mnoho čeledí dvoukřídlého hmyzu. Emergentní lapák se skládá z látkového trychtýře o základně 1 m², který se dolním koncem zakopá do země na stanovišti a ze sběrné hlavy v podobě 1 litrové polyetylenové láhve naplněné až po okraj 70% etylalkoholem. Metodou *morfospecies* se rozumí rozlišení odchyceného materiálu do „druhů“ na základě jejich podobnosti [1]. Vzorky byly dále vyhodnoceny indexy kvantitativní synekologické analýzy. Při synekologických rozbořech byl počítán Simpsonův a Shannon-Wienerův index druhové rozmanitosti a Margalefův index druhové pestrosti.

Simpsonův index druhové rozmanitosti se vypočte dle vztahu: $D = 1 / \sum p_i^2$, kde p_i = relativní početnost i-tého druhu. Tento index vyjadřuje, s jakou mírou pravděpodobnosti patří dva náhodně odebraní jedinci dvěma různým druhům. Shannonův index se vypočte podle vzorce: $H = - \sum p_i \ln p_i$ a vychází z pravděpodobnosti, s jakou bude další ulovený jedinec patřit předpokládanému druhu

Index druhové pestrosti je měrou druhové bohatosti vzorku. Byl používán ve dvou podobách a to 1) celkový počet zjištěných druhů (resp. *morfospecies*) a 2) Margalefův index druhové pestrosti (ten respektuje odlišnosti vzorků různě početných, ale v našich odběrech jsme volili metodiku emergentních lapáků, které se příliš neliší v počtech odebraných jedinců). Margalefův index druhové pestrosti se vypočítá jako $P = (Nd - 1) / \log N$, kde Nd je počet druhů ve vzorku a N celkový počet jedinců.

Výzkum vlivu intenzity mulčování na výskyt běloklasosti a klopoušky hnědožluté v kostřavě červené

Pro výzkum vlivu intenzity mulčování na výskyt běloklasosti a klopoušky hnědožluté v kostřavě červené, trávě náchylné na běloklasost, byl v letech 2008–2011 založen pokus na stanovišti v Zubří. Kostřava červená byla založena ve čtyřech variantách. Pokus nebyl sklizen na semeno. Byl sledován výskyt stařiny, počet běloklasých stébel a počet jedinců klopoušky hnědožluté v pokuse. Na základě upřesnění metodiky pro rok 2009 bylo zařazeno do pokusu

smýkání entomologickým smýkadlem se zaměřením na zjištění počtu jedinců klopoušky hnědožluté způsobující běloklasost.

Režim ošetření pokusu v letech 2008–2011 (počet mulčování za rok)

Varianty:

1– mulčováno 1×, 2 – mulčováno 2×, 3 – mulčováno 3×, 4 – mulčováno 4×

Charakteristika lokality v Zubří s pokusem kostřavy červené

Z hlediska způsobu obhospodařování se jedná o ekologický systém pěstování trávy na semeno bez použití pesticidů a průmyslových hnojiv. Tento systém hospodaření na stanovišti probíhal v roce 2011 čtvrtým rokem. Na stanovišti je založen pokus s mulčováním a následným vyhodnocením výskytu běloklasosti.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vyšší počet jedinců (52095) byl zjištěn na stanovišti louky, kde se provádí mulčování travního porostu (Tab. 1). Počet *morphospecies* (2387) byl vyšší u stanoviště, kde se provádí mulčování (Tab. 2). V mulčovaném travním porostu bylo zjištěno menší zastoupení ploštíc oproti nemulčovanému (Tab. 3). Vyšší hodnoty u všech indexů jsou na mulčovaných stanovištích. Zde byl i vyšší počet jedinců a taxonů *morphospecies* (Tab. 4).

Tab.1: Počet jedinců na stanovišti mulčovaného a nemulčovaného trvalého travního porostu ve Stříteži nad Bečvou v letech 2008–2011

Rok	2008	2009	2010	2011	Celkem
Střítež mulč.	10654	7011	7149	27281*	52095
Střítež nemulč.	10717	6827	4701	7640	29885
Celkem	21371	13838	11850	34921	81980

* v roce 2011 bylo zjištěno 20724 jedinců mšic *Aphidomorpha* na mulčovaném stanovišti

Tab.2: Počet taxonů *morphospecies* na stanovišti mulčovaného a nemulčovaného trvalého travního porostu ve Stříteži nad Bečvou v letech 2008–2011

Rok	2008	2009	2010	2011	Celkem
Střítež mulč.	607	614	655	511	2387
Střítež nemulč.	745	580	445	451	2221
Celkem	1352	1194	1100	962	4608

Tab.3: Počet jedinců ploštíc určených do druhů na stanovištích trvalého travního porostu v letech 2008–2011

		2008	2009	2010	2011	Celkem
Střítež	mulčované	9	25	12	53	99
Střítež	nemulčované	51	30	13	29	123

Tab. 4: Průměrné hodnoty vypočtených indexů diverzity v letech 2008–2011

	Simpson's index	Shannon's index	Margalef's index
Střítež – nemulčované	19,75	3,27	13,74
Střítež – mulčované	29,74	3,62	16,60

Existuje mnoho studií z abývajícími se biologickou rozmanitostí a stanoviščími s různými způsoby zpracování půdy. /2/hodnotili 76 takových studií. Mnoho prací se zabývá mulčováním. Výzkum vlivu slámy po předchozím mulčování v bramborách na výskyt mandelinky bramborové prokázal snížení výskytu tohoto významného škůdce u mulčovaných porostů oproti nemulčovaným/3/. Studium rozmanitosti členovců v sadech pod ekologickým a konvenčním způsobem obhospodařování se zařazením mulčování ukázalo, že mulčování snižovalo výskyt jedinců střevlíkovitých a jejich druhovou pestrost /8/. Mulčování zvyšovalo druhovou pestrost u drabčíkovitých. Shannon-Wienerův index druhové rozmanitosti byl vyšší u drabčíkovitých na mulčovaném stanovišti.

Výsledky v po kusu s vlivem intenzity mulčování na výskyt běloklasosti a klopušky hnědožluté v porostu kostřavy červené

V roce 2008 byl výskyt běloklasých stébel pouze na variantě bez mulčování a to ojediněle. Na mulčovaných variantách se běloklasost nevyskytla. V roce 2010 a 2011 byl výskyt běloklasosti zaznamenán pouze na variantě č. 1 u kostřavy červené, kde bylo mulčováno pouze jedenkrát ročně v roce 2010 (9 běloklasých stébel u kostřavy červené na m²) a v r. 2011 3 běloklasá stébla u kostřavy červené na variantě č. 1, u ostatních mulčovaných variant se běloklasost nevyskytla. Nevětší počet běloklasých stébel a průkazný výskyt klopušky hnědožluté byl zaznamenán v roce 2009 (Tab. 5). Pokus byl mulčován u varianty č. 1, 2, 3 a 4 v dubnu 2009. Varianty 2, 3 a 4 byly dále mulčovány v červnu 2009. Varianty 3 a 4 potom byly mulčovány v červenci 2009 a varianta č. 4 v září 2009. Celý pokus varianty 1–4 byl mulčován včetně kontroly v říjnu 2009. Hodnocení stařiny bylo provedeno v dubnu 2009. Počet klopušek byl zjištěn na všech variantách v květnu 2009. Počet běloklasých stébel byl zjištěn v červnu 2009 před druhým mulčováním. Stejný režim mulčování byl proveden i v roce 2008, 2010 a 2011.

Tab. 5: Hodnocení výskytu klopušek ve vztahu k počtu běloklasých stébel u kostřavy červené v roce 2009

Varianta	Výskyt stařiny (%)	Počet klopušek	Počet běloklasých stébel (m ²)
	6. 4. 2009	15. 5. 2009	1. 6. 2009
1	90	220	66
2	50	196xx	39xx
3	30	18xx	17xx
4	15	14xx	7xx

Počet nymf klopušek - ANOVA LSD 0,05: 9,432 LSD 0,01: 13,563

Počet běloklasých stébel - ANOVA LSD 0,05: 4,629 LSD 0,01: 6,656

xx – vysoce průkazný rozdíl

S intenzitou mulčování klesá výskyt běloklasých stébel a výskyt klopušky hnědožluté. Nejvyšší počet běloklasých stébel a největší počet klopušek byl zjištěn na variantě, č. 1 která byla mulčována na podzim a bylo zde i nejvíce mulče (stařiny) z podzimu. Na této variantě byl zaznamenán největší počet běloklasých stébel. S intenzitou mulčování klesá výskyt běloklasých stébel a výskyt nymfálního stádia klopušky hnědožluté jak je patrné z tabulky.

Z těchto výsledků vyplývá největší výskyt běloklasosti na variantě s největším zastoupením mulče. Tam, kde je nejvíce stařiny, je i nejvíce klopušky hnědožluté *tz.* škůdců.

V zemědělské praxi se nebezpečí napadení klopuškou způsobující běloklasost významným způsobem projevuje zejména od druhého užitkového roku u trav pěstovaných na semeno, se stářím porostu se intenzita napadení zvyšuje a může způsobit vysoké ztráty na výnosu semen u pěstovaných travních druhů. Ošetření travních porostů proti běloklasosti je součástí pěstitelské technologie v travách na semeno a je doporučováno provést u náchylných travních druhů jako je kostřava luční, kostřava červená a ovčí, trojštět žlutavý, pohánka hřebenitá, druhy rodu lipnice a psineček /5/. Výzkum /10/ zjistil, že běloklasost je charakterizována bělavými, zcela sterilními latami u mnoha druhů vytrvalých trav. Zkoumal se zejména vliv běloklasosti na produkci semen u lipnice luční a kostřavy červené. Jako spolehlivou ochranu pro oti kl opušce se doporučuje /5/ ošetření insekticidem n a b ázi deltamethrinu Decis EW 50 (0,1–0,3 l.ha⁻¹ (v současnosti Decis Mega 0,1–0,15 l.ha⁻¹) ve fázi sloupkování (nejpozději na začátku metání). Jako nový byl v rámci projektu odzkoušen přípravek Biscaya 240 OD s účinnou látkou thiaklopid proti běloklasosti v kostřavě červené pěstované na semeno.

V letech 2008 –2011 bylo na dvou pokusných stanovištích prostřednictvím emergentních lapáků celkem zjištěno 81980 jedinců, 29885 v nemulčovaném systému a 52095 v mulčovaném systému. Větší počet jedinců byl v mulčovaném systému než v nemulčovaném. Celkový počet *morphospecies* (4 608) byl vyšší u mulčovaného stanoviště. Vyšší hodnoty u všech indexů diverzity jsou na mulčovaných stanovištích. Zcela novým poznatkem je zjištění menšího počtu ploštic v mulčovaném travním porostu oproti nemulčovanému a zjištění vlivu zvýšení intenzity mulčování na snížení výskytu ploštic v travním porostu. U varianty s kostřavou červenou č. 4, kde bylo provedeno mulčování 4 × ročně, bylo nejnižší zastoupení stařiny (15 %), nejnižší výskyt klopušek (14) a nejnižší počet běloklasých stébel (7) oproti variantě č. 1, kde bylo provedeno mulčování jednou ročně a byly zde zaznamenány nejvyšší hodnoty ve všech sledovaných známkách (ve všech variantách zastoupení stařiny 90 %, výskyt klopušek 220, počet běloklasých stébel 66). Mezi těmito dvěma variantami č. 1 a č. 4 je vysoce průkazný rozdíl ve výskytu klopušek a počtu běloklasých stébel. Vysoce průkazný rozdíl u kostřavy červené ve výskytu klopušek a počtu běloklasých stébel je i mezi variantou č. 1 (1× mulčováno), č. 2 (2× mulčováno) a č. 3 (3× mulčováno).

Na základě výsledků řešení projektu zabývajících se monitoringem biodiverzity členovců na travních a jetelových porostech byla vydána v roce 2013 Metodika hodnocení biodiverzity hmyzu v travních a jetelových porostech. V metodice je uvedena metoda sběru a hodnocení hemiedafických členovců v přírodním ekosystému.

Metodika vydaná v roce 2013 uvádí nové výsledky a poznatky v oblasti biodiverzity hmyzu v travách a jetelovinách, které jsou zcela novátorské a významným způsobem obohacují daný obor. Z celkových výsledků projektu můžeme zejména specifikovat to, že řešitelé vyvinuli v průběhu řešení projektu metodiku biodiverzity a monitoringu autochtonní fauny hemiedafických členovců, která je velmi vhodná pro zajištění cíle specifikovat vztah a vliv zemědělských technologií na biodiverzitu přírodního ekosystému a určit klíčové otázky tohoto vztahu. Navíc je splnění požadováno mezinárodními institucemi v rámci úmluvy o biodiverzitě, ke které jsme se jako stát připojili. Současně je významný i emergentní lapák jako užitečný vzor, který je určen pro výzkum monitoringu členovců v přírodním ekosystému. Významným přínosem pro vědu a zcela unikátním je nalezení nových druhů členovců v průběhu řešení výzkumného projektu. Řadí se zde i zachycení jedinců zapsaných do červeného seznamu ohrožených druhů ČR. Významný a zcela nový je poznatek ohledně vlivu zvýšené intenzity mulčování na výskyt ploštic v travním porostu zejména u trav, které budou pěstovány na semeno, a je námětem pro další výzkum v inovaci pěstitelské technologie trav pěstovaných na semeno. Novátorský je i poznatek účinnosti přípravku Biscaya 240 OD

s novou účinnou látkou thiakloprid proti běloklasosti. Přípravek bude navržen pro rozšířené použití do trav pěstovaných na semeno proti tomuto závažnému onemocnění.

LITERATURA

- /1/ Barták, M., Krupauerová, A., Frydrych, J., Cagaš, B., Rotrekl, J., Kolařík, P.: Comparison of arthropod diversity in mulched and conventionally managed grassland agroecosystems. Workshop on animal biodiversity, Jevany, Czech Republic, 7. 7. 2010: 14–24. ISBN 978-80-213-2146-5.
- /2/ Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., Evans, A.D.: Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122 (1), March 2005: 113–130.
- /3/ Brust, G. E.: Natural enemies in straw-previous mulch reduce Colorado potato beetle populations and damage in potato. *Biological Control*, 1994, 4: 163–169.
- /4/ Cagaš, B., Klumpar, J., Rotrekl, J., Bumerl, J.: Chemická ochrana proti běloklasosti trav. Sb. ÚVTIZ – Ochrana rostlin 22 (4), 1986: 295–300.
- /5/ Cagaš, B., Macháč, J.: Ochrana travosemenných kultur proti plevelům, chorobám a škůdcům. *Zemědělské informace*, 4/2001. ÚZPI, Praha, 2001: 47, 13 tab., lit. 9.
- /6/ Frydrych, J., Cagaš, B., Kolařík, P., Rotrekl, J., Barták, M.: Biodiverzita hmyzu se zaměřením na škůdce v mulčovaném a nemulčovaném travním systému. Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů, Brno 14–15. listopadu 2013. Úroda, vědecká příloha časopisu [CD-ROM], 61 (12), 2013: 56–61.
- /7/ Frydrych, J., Cagaš, B., Kolařík, P., Rotrekl, J., Barták, M.: Metodika hodnocení biodiverzity hmyzu v travních a jetelových porostech. Uplatněná certifikovaná metodika pro praxi, 2/2013. OSEVA vývoj a výzkum s.r.o., Zubří: 26. ISBN 978-80-260-5529-7.
- /8/ Miñarro, M., Espadaler, X., Melero, V.X.: Organic versus conventional management in an apple orchard: effects of fertilization and tree-row management on ground-dwelling predatory arthropods. *Agricultural and Forest Entomology*, 2009, 11(2): 133–142.
- /9/ Rotrekl, J., Klumpar, J., Cagaš, B., Bumerl, J.: Ploštice a totální běloklasost trav. Sborník ÚVTIZ Ochrana rostlin, 21(4), 1985: 267–274.
- /10/ Soroka, J.J., Gossen, B.D.: Phytophagous arthropods and silvertop levels associated with post-harvest residue treatments in three turfgrass species grown for seed. *Canadian Journal of Plant Science*, 85, 2005: 213–224.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován na základě podpory projektu „Ovlivňování biodiverzity hmyzu v krajině různými způsoby zemědělského využití půdy a zemědělskými technologiemi se zaměřením na škůdce trav a jetelovin a jejich bioregulátory“ č. QH 72151 Národní agentury pro zemědělský výzkum České republiky.

REPKA OLEJKA A ABIOTICKÉ FAKTORY PROSTREDIA Z ASPEKTU FYZIOLOGA A PESTOVATEĽA

RAPESEED AND ENVIRONMENTAL ABIOTIC FACTORS FROM THE ASPECT OF PLANT PHYSIOLOGIST AND FARMER

Elena Masarovičová¹, Lubica Malovcová², Mária Sekerková², Mária Babulicová²

¹Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra pedológie, Mlynská dolina, SK-842 15 Bratislava, Slovenská republika, masarovicova@fns.uniba.sk

²Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, Bratislavská cesta 122, SK-921 68 Piešťany, Slovenská republika

Summary

Paper is aimed at the rapeseed (*Brassica napus* L. ssp. *napus*), extensive utilization of this agricultural and technical crop as well as the response of this plant species to abiotic factors (mainly climatic factors) from the aspect of plant physiologist and farmer. Attention was paid to the agrrotechnics in growing system and production of rapeseed with respect of crop rotation and application of fertilizers. Need of new variety screening which would be resistant against water and temperature stress were underlined. It is also highly necessary to apply such ethical action for rapeseed use as technical crop which would not restrict utilization of rapeseed as an agricultural crop.

Key words: agrrotechnics in growing system, climatic factors, ethical aspects, fertilization, photosynthesis, production, yield, rapeseed

Súhrn

V práci sa venujeme kapuste repkovej pravej forme ozimnej (repka olejka, *Brassica napus* L. ssp. *napus*), jej využitiu ako poľnohospodárskej aj technickej plodiny. Na základe aktuálnych poznatkov sme z hodnotili z aspektu rastlinného fyziológa a pestovateľa vzťah medzi produkciou repky a abiotickými faktormi prostredia (hlavne klimatickými faktormi). Pozornosť sme venovali a grotechnike pestovania a produkcii repky so zreteľom na osevné postupy a výživu. Zdôraznili sme nutnosť prieskumu nových hybridov a línií repky, ktoré budú odolnejšie pre dovšetkým nas tres zo sucha a teploty. U pozornili sme tie ž na nevyhnutnosť prijať také etické opatrenia, ktoré zabezpečia, aby využívanie repky na technické účely neobmedzovalo jej využívanie ako poľnohospodárskej plodiny a tiež nedochádzalo k zvyšovaniu podielu pôdy na úkor iných druhov porastov.

Kľúčové slová: agrotechnika pestovania, etické aspekty, fotosyntéza, hnojenie, klimatické faktory, produkcia, repka olejka, úroda

ÚVOD

V príspevku sa venujeme repke olejke (kapuste repkovej pravej forme ozimnej, *Brassica napus* L. subsp. *napus* – ďalej len repka), ktorá je po obilninách a kukurici treťou najdôležitejšou plodinou a najvýznamnejšou olejninou na Slovensku. Za posledných desať rokov ná zora na pestovanie a jej využívanie tejto plodiny prežíva nás a jvo s vete v iaceré zaujímavé premeny. Od **nadšenia** – ako z drojbi okomponentov do biopalív a žpo je **zatratenie** - „tichá cunami“, ktorá zanecháva po sebe hladných a chudobných. Široké využitie repky či už ako poľnohospodárskej a technickej plodiny alebo ako perspektívnej „funkčnej

plodiny“ je stále aktuálne. Z týchto plodín sa pripravujú „funkčné jedlá“ významne obohatené o látky s vysokou nutričnou hodnotou. Rastliny obohatené o niektoré dôležité bioelementy (napr. zink a železo) sa v súčasnosti získavajú biotechnologickými postupmi nazývanými fytofortifikácia /prehľadne 1/. Ukázalo sa /2/, že UVB žiarenie (290–320 nm) indukovalo v pokožke listov repky vyššiu koncentráciu flavonoidov – zdraviu prospešných látok, ktoré znižujú riziko srdcovo-cievnych a zhubných nádorových ochorení, majú pri otízápalových účinkoch, zlepšujú zrak, pomáhajú spomaľovať nábeh na obezitu a diabetes a predlžujú vek života. Avšak jednoznačne najdôležitejšie je využívanie repky na výrobu stolového rastlinného oleja, biokomponentu MERO (metyl ester repkového oleja) do nafty a jej olejnaté pokrútiny predstavujú významnú zložku živočíšneho krmiva /prehľadne 3/. Schopnosť akumulovať vyššie koncentrácie niektorých toxických kovov (hlavne kadmia) do koreňa aj nadzemnej časti /napr. 4/ repku zaradilo medzi druhy rastlín využiteľných vo fytoextrakčných technológiách. V nadväznosti na uvedené skutočnosti repka je aj b ude v centre záujmu rastlinných fyziológov (základný výskum) a pestovateľov (aplikovaný výskum) u nás aj v zahraničí. V našom príspevku sme charakterizovali repku a koplodinu so záujímavým ontogenetickým vývinom a analyzovali sme vplyv niektorých dôležitých abiotických faktorov prostredia na fyziologické procesy a jej produkciu.

FOTOSYNTETICKÁ AKTIVITA AKO ZÁKLAD PRODUKČNÉHO PROCESU RASTLÍN

Fotosyntetická aktivita predstavuje súbor **primárnych** (absorpcia fotosynteticky aktívneho žiarenia, syntéza ATP a NADPH₂) a **sekundárnych reakcií** (transport CO₂ na miesto fixácie, tvorba, transport a ukladanie asimilátov) prebiehajúcich v rastlinách. Fotosyntetické asimiláty sú zdrojom uhlíkového skeletu pre ďalšie organické zlúčeniny, pre syntézu sekundárnych metabolitov, ale predovšetkým sú substrátom pre respiračné procesy, ktoré zabezpečujú priebeh všetkých energiuvyžadujúcich biochemických a fyziologických procesov. Fotosyntetická aktivita je úzko spätá s ostatnými fyziologickými procesmi – respiráciou, príjmom a využívaním minerálnych látok, dištribúciou asimilátov, zdroj-sinkovými vzťahmi /prehľadne 5/. Potrebné je však zdôrazniť, že fotosyntetickú aktivitu nemožno stotožňovať s produkčnou aktivitou (produkčným potenciálom, produkciou), pretože nemusí byť vždy spojená s preukazným prírastkom biomasy rastlín. V priebehu vegetačného obdobia existujú úseky, kedy fotosyntetický proces prebieha, produkčná aktivita je zrejmá, ale prírastok biomasy sa nezaznamená. V tomto prípade sa fotosyntetická aktivita a jej energetický potenciál využíva v iných procesoch, napr. reparačných procesoch porušených bunkových štruktúr v stresových podmienkach, na tvorbu semien, rast, príjem látok (hlavne živín) a transportné procesy.

Produkčný proces predstavuje komplex morfológicko-anatomických štruktúr a v nich prebiehajúcich procesov, vrátane interakcií týchto procesov s faktormi prostredia, ktorý vedie k tvorbe novej biomasy a k zachovaniu už existujúcej biomasy. S fotosyntetickou aktivitou a produkciou úzko súvisí **hospodárska úroda**, ktorá predstavuje zložku produkcie, ktorá sa hospodársky využíva. V úrode je premietnutá určitá časť celkovej produkcie biomasy, a tým aj časť už realizovanej fotosyntetickej aktivity. Úrodotvorný proces je komplexný proces zahrňujúci genofond plodiny, základné fyziologické procesy (rast a vývin, fotosyntéza, respirácia, minerálna výživa, vodný režim), pôdne pomery a klimatické faktory. Z uvedeného vyplýva, že tvorba biomasy, a tým aj hospodárska úroda, sú dynamické a regionálne špecifické fenomény /prehľadne 6/.

FOTOSYNTÉZA, PRODUKCIA A ABIOTICKÉ FAKTORY PROSTŘEDIA

V prirodzených podmienkach pôsobí na fotosyntézu a produkciu rastlín zložitý komplex vnútorných a vonkajších faktorov. Z vonkajších faktorov, ktoré ovplyvňujú fotosyntézu, a tým aj produkciu sú to: energia žiarenia, voda, koncentrácia CO_2 , teplota a minerálna výživa. V súčasnosti sa na posúdenie vplyvu abiotických faktorov na fytoceenózy používajú tzv. funkčné charakteristiky rastlín (fenologické, morfológické a fyziologické parametre), ktoré citlivo reagujú na zmeny uvedených vonkajších faktorov. Pravda, okrem týchto tzv. normálnych podmienok sú významnými, zväčša negatívne pôsobiacimi environmentálnymi faktormi aj rozmanité cudzorodé látky (xenobiotiká) rôzneho pôvodu. Pestovateľ však nezaujíma iba úroda, ale aj kvalita produktu. V prípade repky kvalita semien, ako hospodárskeho produktu, je výsledkom pôsobenia štyroch faktorov: a) genetického základu, b) charakteru lokality, c) agrotechniky pestovania, d) priebehu počasia v danom vegetačnom období. Dôležitými ukazovateľmi pre hodnotenie ekonomiky pestovania repky sú popri hektárovej úrode a nákladovosti výroby aj environmentálne aspekty, súvisiace predovšetkým s hnojením a meniacimi sa klimatickými podmienkami. Pri pestovaní repky jedným z najvýznamnejších intenzifikačných faktorov je aplikácia hnojív. Repka je plodina, ktorá má relatívne vysoké nároky na minerálnu výživu, predovšetkým na dusík: približne 50 kg N.t^{-1} semena vrátane biomasy, čiže $140\text{--}160 \text{ kg N.ha}^{-1}$ pričelkovej úrode 3 t ha^{-1} . Dusíkaté hnojenie prispieva k lepšiemu využitiu prijatého dusíka pre tvorbu semena, zatiaľ čo nehnojený variant akumuluje relatívne väčšie množstvo dusíka v slame /napr. 7,8/. Avšak dusíkaté hnojenie je z dôvodu zvýšenej koncentrácie nebezpečného skleníkového plynu oxidu dusného v atmosfére, ktorý sa tak stal v posledných rokoch predmetom záujmu predovšetkým klimatológov.

ONTOGENETICKÝ VÝVIN REPKY VO VZŤAHU KU KLIMATICKÝM FAKTORM

Z komplexného ontogenetického vývinu repky sa zameriame iba na tie fázy, ktoré sú najcitlivejšie na vplyv klimatických faktorov. Repka prezimováva v stave listovej úžice. Počas zimného obdobia väčšina pravých listov zvädne, uschne a opadá, zostanú len mladé listy. Pri prezimovaní repky sú dôležité zimné zrážky, hlavne snehová pokrývka, ktorá rastliny chráni pred vymrznutím. Dobré prezimovanie rastlín je preto veľmi dôležité lebo vytvára predpoklad pre vysokú úrodu semena. Na spoľahlivé prezimovanie by mala mať repka minimálne 6 až 10 listov a priemer koreňového krčka od 8 do 15 mm. Ukázalo sa, že porast repky na jeseň dobre vyvinutý, ale nachádzajúci sa na jar (pri nástupe ďalšieho vegetačného obdobia) dlhodobo v premočenej pôde, môže vyhniť /9/.

Medzi hlavné faktory, spôsobujúce tzv. vyzimovanie porastov repky patria okrem holomrazov s triedaním zrážok a vysokých teplôt v predjarnom období, podmočenie a vyhnutie rastlín na zamokrených pôdach pri jarnom topení snehu. Často sa vyskytujúce výrazné rozdiely teplôt v noci a cez deň (pokles z kladných do záporných hodnôt) v podmienkach snehovej pokrývky spôsobuje poškodenie rastlín. V dôsledku pohybu pôdy pri zamŕzaní a rozmŕzaní dochádza k trhaniu koreňov /10/. V klimatických podmienkach Slovenska je vegetačné obdobie repky cca. 300 dní. Vysieva sa v druhej polovici augusta, dozrieva koncom júna. Pretože repka zväčša nejednotne kvitne, tak aj nerovnomerne dozrieva. Kritické obdobie pre repku je v čase zakladania porastu. V období sejby, kvitnutia aj dozrievania repky prospieva mierne vlhké a teplé počasia /napr. 11/. Ako rozhodujúci faktor pre úspešné pestovanie repky sa javí dostatok vlhky v období vzchádzania rastlín /12/. Suché počasia nielenže negatívne ovplyvňuje ontogenetický vývin asimilačných orgánov a tvorbu semena, ale pritom podporuje aj rozvoj škodcov. Preto sa repka nemá pestovať v nížinných a suchých oblastiach. Najmä nízke zrážky (sucho) v auguste a septembri

spôsobuje neskoré povzchádzanie repky. Rastliny potom majú slabo vyvinutú nadzemnú časť aj koreňový systém – najmä koreňový krčok /prehľadne 13/.

AGROTECHNIKA PESTOVANIA REPKY

Jednou z dôležitých súčastí agrotechniky pestovania repky je dobrá príprava pôdy pred sejbou a dodržanie odporúčaného výsevku, čím sa dosiahne požadovaný počet jedincov na danú plochu, v rovnaný porast, ktorým je nemožno vyhnúť pri vytvorení nielen silných rastlín schopných odolávať nepriazni počasia, ale je pripravený aj na dobré prezimovanie. Ukázalo sa, že čím lepší pôdny druh, väčšia zásoba humusu a vhodnejšie prerozdelenie zrážok počas vegetačného obdobia, tým sú účinky osevných postupov na úrodu semena nepatrnejšie. Osevný postup nadobúda väčší význam v prípade pôd s nízkym obsahom humusu na priek pozitívneho dopadu dusíkatého hnojenia a ochrany rastlín. Zmeny v osevnom postupe majú vplyv na formovanie úrody, štruktúru úrody, čím ovplyvňujú úrodu všetkých plodín zaradených do osevného postupu / 14/. Fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy sú rôznym spôsobom ovplyvňované plodinami pestovanými v minulých rokoch, čo sa prejavuje v množstve zvyškovej vody a prístupných živín pre následný rast repky. Uvedený autor zistil, že úroda repky sa znižuje v prípade kratších osevných postupov. Repka by sa nemala siať po olejnine vzhľadom k prenosu tých istých chorôb (fómová hniloba, verticiliové vädnutie, biela hniloba). Seba repky po olejninách si preto vyžaduje zvýšenú pozornosť v podobe viacnásobného fungicídneho a insekticídneho ošetrenia / 9/. Potrebne je upozorniť na zaujímavú skutočnosť, že v súčasnosti je veľmi problematické vybrať vhodnú predplodinu, pretože v poľnohospodárskych podnikoch sa klasické triedenie plodín už prakticky nerealizuje. Seba repky, ktoré sú ekonomickejšie, ktoré sú ekonomickejšie. Pri rovnomernom vzchádzaní repky je dôležitá dôsledná príprava pôdy, ktorá mnohokrát závisí od počasia. Nekvalitná príprava pôdy spôsobuje nerovnomerné povzchádzanie repky, čo spôsobuje problémy pri rozhodovaní o prípadnom fungicídno-morforegulačnom zásahu, ktorý treba vykonať v rastovej fáze 4–6 pravých listov, kedy má repka tendenciu ukladať viac asimilátov do listov na úkor koreňov /15/. Jedným z dôsledkov regulácie rastu repky je tiež tvorba väčšieho množstva listov, ktoré však majú kratšie stopky a menšiu listovú čepeľ, čím sa spomaľuje rýchlosť zapojenia porastu predlžuje sa doba intenzívneho nárastu biomasy koreňa /16/.

Výživa repky je jedným z základných faktorov, ktoré formujú úrodu a tiež kvalitu semena. Nesprávna, prípadne nedostatočná (ale aj nadbytočná) výživa je jedným zo stresujúcich faktorov vo vývine repky /17/. Repku zaraďujeme medzi najnáročnejšie plodiny na výživu. Pri jej optimálnom raste potrebujeme okrem makroelementov aj v rovnanú s kladbu mikroelementov. Na vytvorenie 1 t repkového semena rastliny spotrebujú 50 kg dusíka, 11 kg fosforu, 50 kg draslíka a 18 kg síry /18/. V rámci tohto príspevku nie je dostatočný priestor pre analýzu vplyvu výživy na úrodu repkového semena, preto upozorňujeme čitateľa, že problematiku výživy repky sme podrobnejšie analyzovali v našej prehľadnej práci /13/.

HOSPODÁRSKA ÚRODA REPKY

V Slovenskej republike sa priemerná úroda repky dlhodobo pohybuje okolo 2 t.ha⁻¹. Pri hodnotení úrody repky za obdobia rokov 2000–2013 úroda na d 2,5 t .ha⁻¹ bola v r. 2004 a 2008. Podľa zatiaľ neoficiálnych údajov sa v r. 2013 dosiahla priemerná úroda repky 2,8 t.ha⁻¹. V roku 2004 vysoká priemerná úroda bola vďaka priaznivému počasiu, predovšetkým dostatku vlhky, miernejším teplotám a spolupôsobeniu vlhových a teplotných pomerov, čo sa najviac prejavilo v čase dozrievania a zberu semien. Došlo k pomalšiemu priebehu dozrievania, vegetačné obdobie sa predĺžilo až o 20 dní /19/. V roku 2003 nepriaznivé počasie malo vplyv nielen na výnosy repky, ale aj na dosiahnutú priemernú úrodu, ktorú bol a najnižšia za obdobia rokov 2000–2012 — prehľadne pozri údaje Slovenského štatistického úradu / 13/. Hospodárska úroda semena repky (pri dodržaní správnej technológie) môže

dosiahnuť v klimatických podmienkach Slovenska 3–3,5 t.ha⁻¹. Priemerná úroda repky bol a napr. z a pos ledných 5 rokov 2,26 t.ha⁻¹. Pritom sa potvrdila odr odová reakcia (hybridy a líniové odrody) na klimatické a edafické podmienky pr ostredia – výrazný rozdiel vo výkonnosti odr ôd v rôznych pestovateľských podmienkach Slovenska (výsledky výskumu pracovníkov Výskumného ústavu rastlinnej výroby Piešťany). Avšak pri výbere vhodnej odrody sa vychádza nielen z úrody a olejnatosti semená, ale sa rešpektuje aj priemerná hektárová úroda, zimovzdornosť a dobrý zdravotný stav danej odrody.

ZÁVER

Poľnohospodárska prax ukázala, že v súvislosti s klimatickými zmenami na Slovensku (perspektívne teplejšia a suchšia klíma) bude potrebné urobiť prieskum nových hybridov a líniových odrôd repky, ktoré budú odolnejšie na stres zo sucha a teploty a tiež na prípadné holomrazy v oblastiach, kde nebude dostatočná snehová pokrývka. Táto skutočnosť je výzvou pre pestovateľov, šľachtiteľov, rastlinných fyziológov aj produkčných ekológov prispieť k riešeniu tohto problému – vyselektovať tie parametre, ktoré sú najdôležitejšie pre tvorbu rastlinnej biomasy a z klimatických faktorov determinovať tie, ktoré najvýznamnejšie ovplyvňujú tvorbu biomasy rastlín a kvalitu oleja semien repky. Bude potrebné prijať také opatrenia, ktoré zabezpečia, aby využívanie repky na technické účely nielen že neobmedzovalo jej využívanie ako poľnohospodárskej plodiny, ale nedošlo k zvyšovaniu podielu pôdy pre pestovanie technických plodín (vrátane repky) na úkor iných druhov porastov.

LITERATÚRA

- /1/ Kráľová, K., Masarovičová, E.: Plants for the future. *Ecological Chemistry and Engineering*, 13, 2006: 1179–1207.
- /2/ Wilson, K.E., Thompson, J.E., Huner, N.P.A., Greenberg, B.M.: Effects of ultraviolet-A exposure on ultraviolet-B-induced accumulation of specific flavonoids in *Brassica napus*. *Photochemistry and Photobiology*, 73, 2001: 675–684.
- /3/ Masarovičová E., Kráľová K., Peško M.: Fotosyntetická aktivita repky olejky, aktuálny stav a perspektívne zmeny. In: Bláha L. (ed.): Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Česká zemědělská univerzita, Praha, 2009: 40–48.
- /4/ Peško, M., Kráľová, K., Masarovičová, E.: Niektoré aspekty fytoextrakcie kovov rastlinami druhu *Brassica napus* L. In: Manová, A., Čecho, F. (ed.): Priemyselná toxikológia 2008. Zborník príspevkov z 28. vedeckej konferencie „Priemyselná toxikológia 08“, Tatranská Štrba, 18.–20.6.2008. STU Bratislava, 2008: 316–320.
- /5/ Dekker, M. (ed.): Handbook of Photosynthesis. Second edition. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2005: 928.
- /6/ Kostrej, A., Danko, J., Jureková, Z., Zima, M., Gáborčík, N., Vidovič, J.: Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín. Vydavateľské a edičné stredisko SPU v Nitre, Nitra, 1998.
- /7/ Šrojtová G.: Nitrogen fertilization in relationships to yield of winter rape. Zbornik radova proceedings: 40. hrvatski medunarodni znanstveni simpozij agronoma. Agriculture University J.J. Strossmayer, Zagreb, 2005a: 328–329 + CDR. ISBN 953-6284-40-1.
- /8/ Kráľová, K., Masarovičová, E.: Minimalizácia rizik pre životné prostredie pri pestovaní repky olejky na účely biopalív. In: Manová, A., Čecho, F. (ed.): Priemyselná toxikológia 2008. Zborník príspevkov z 28. vedeckej konferencie „Priemyselná toxikológia 08“, Tatranská Štrba, 18. – 20.6.2008. STU Bratislava, 2008: 311–315.
- /9/ Sekerková, M., Malovcová, E.: Pestovanie repky olejnej na Slovensku. Repka: odborná príloha časopisu Roľnícke noviny, 2, 2013: 20–23.
- /10/ Šrojtová, G.: Priebeh počasia a jeho vplyv na tvorbu úrody repky olejky. In: Rožňovský J., Litschmann T. (eds): Bioklimatologie současnosti a budoucnosti. Křtiny 12.–14. 9. Česká bioklimatologická společnost v nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2005b. ISBN 80-86690-31-08, online, <http://www.cbks.cz/sbornik05b/Srojtova.pdf>
- /11/ Jakubíková, V., Vinceová, A.: Vplyv klímy na úrodu repky o zimnej (*Brassica napus* L.) v Slovenskej republike. In: Salaš P. (ed.): Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu. Zborník z konferencie 20.–21. 9. 2011, Lednice. MZLU–CVZS, Brno, (CD), 2011: 138–142. Vědecká příloha časopisu Úroda. ISSN 0139-013.

- /12/ Zubal P.: Faktory ovplyvňujúce tvorbu úrody repky v podmienkach Slovenska. In: Vašák J., Kováčik A., Zúkalová H., Kosek Z. (ed.): Prosperující olejniny. ČZU v Praze, Praha, 2007: 15–18. ISBN 978-80-213-1715-4.
- /13/ Masarovičová E., Malovcová L., Sekerková M., Babulicová M.: Charakteristika repky olejky z hľadiska pestovateľských a klimatických podmienok. In: Bláha L., Šerá B. (ed.): Příspěvky k problematice zemědělského pokusnictví. Powerprint, Praha, 2014: 71–98. ISBN 978-80-7427-153-3.
- /14/ Christen O.: Raps in der Fruchtfolge – ist die Grenze der Ausdehnung erreicht? UFOP-Schriftenreihe, Heft 29, Öl – und Proteinpflanzen, OIL, 2006: 119–128.
- /15/ Gall J.: Aktuální přehled ochrany rostlin na září až konec vegetace. Rostlinolékař, 18, 2007: 5–9.
- /16/ Bečka D., Vašák J., Šimka J.: Podzimní regulace a hnojení řepky ozimé. Agromanuál 9–10, 2013: 56–58.
- /17/ Fecenko J., Ložek O.: Výživa a hnojenie poľných plodín. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Duslo, a.s., Nitra, Šaľa, 2000: 442, ISBN 80-7137-777-5.
- /18/ Ložek O.: Výživa a hnojenie ozimnej repky. Agrochémia, 1, 1998: 18–20.
- /19/ Zubal P.: Analýza faktorov, ktoré ovplyvnili vysokú úrodu repky na Slovensku v r. 2004. In: Vašák J., Kováčik, A., Zúkalová H., Kosek Z. (ed.): Řepka, mák, slunečnice a hořčice. Sborník referátů z konference k atedry rostlinné výroby ČZÚ v Praze, 22.–23.2.2005. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2005: 55–61. ISBN 975-80-213-1289-0.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory V edeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SRVEGA, grant č. 1/0218/14 a Rezortného projektu v ýskumu a vývoja na roky 2013-2015 „Inovácie pestovateľských systémov v udržateľnej rastlinnej výrobe v meniacich s a podmienkach pr ostredia“, riešeného v rámci „Nového modelu vedy a výskumu v rezorte Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR“.

ROLE DÁLKOVÝCH SIGNÁLŮ V REAKCI ROSTLIN NA SUCHO

ROLE OF LONG-DISTANCE SIGNALS IN RESPONSE OF PLANTS TO DROUGHT

Vít Gloser

Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav experimentální biologie, Kamenice 5, 625 00 Brno, Česká republika, VitGloser@sci.muni.cz

Summary

This contribution summarizes basic mechanisms that mediate delivery of information about changes in water availability in soil from roots to shoot. It namely presents categories of putative signals that may cause changes in stomatal conductance prior to changes in water potential of leaves. The putative signals may involve plant growth regulators such as abscisic acid, cytokinins or auxins. The signal may also be mediated by changes in content of some ions transported in sap such as nitrate, sulphate or malate. Another signalling mechanism includes pressure changes in xylem. Described are also some examples of interactions between signals and effects of environmental conditions on drought signalling in plants.

Key words: stomatal conductance, transpiration, water potential, abscisic acid

Souhrn

Príspevek shrnuje základní mechanismy, které mohou v rostlinách zprostředkovat přenos informace o změnách v dostupnosti vody v půdě z kořenů do listů. Zejména se zabývá signály, které působí změny ve vodivosti průduchů na listech ještě před tím než dojde ke změně jejich vodního potenciálu. Tyto signály mohou mít povahu růstových regulátorů jak je kyselina abscisová, cytokininy nebo auxiny. Signálem však mohou být také změny v množství některých iontů transportovaných z kořenů do apoplastu listů v xylémové šťávě jako například nitrátu, sulfátu nebo malátu. Dalším možným signálním mechanismem jsou změny tlaku v xylému. Popsány jsou také některé interakce mezi signály a vliv dalších faktorů vnějšího prostředí na signalizaci stresu suchem.

Klíčová slova: průduchová vodivost, transpirace, vodní potenciál, kyselina abscisová

ÚVOD

Dostupnost vody v půdě je důležitým faktorem limitujícím růst a produkci rostlin. Tradiční pohled na reakci rostliny na sucho ukazuje stav vody v rostlině (např. vodní potenciál) jako hlavní prvek ovlivňující výslednou reakci rostliny na změnu dostupnosti vody v půdě. Snížení obsahu vody v rostlině v důsledku snížené dostupnosti vody v půdě však nemusí být vždy prvním ani jediným mechanismem vedoucím ke změnám v otevřenosti průduchů a rychlosti růstu. Řada experimentů ukázala, že rostliny mohou v průběhu denního cyklu ztratit rychlou transpirací poměrně významnou část vody a zase ji doplnit nebo naopak přivírat průduchy a zpomalovat transpiraci, přestože k poklesu vodního potenciálu listů nedošlo /18/. Ukazuje se tedy, že reakce rostlin na změny v dostupnosti vody v půdě jsou ovlivňovány signály, které vznikají v kořenech a jsou přenášeny do nadzemní části rostliny, kde působí. Přestože existence těchto signálů je všeobecně přijímána, jejich přesná identita a mechanismy jejich působení jsou stále velmi málo známy /16/. Je to dáno mimo jiné také tím, že signály mohou být různé povahy, jejich vznik je závislý na fázi vysychání půdy a jejich působení je většinou výsledkem vlivu několika různých signálních mechanismů současně.

Tento příspěvek si klade za cíl shrnout základní typy mechanismů sloužících v dálkové signalizaci sucha u rostlin. Zejména se zaměřuje na rychlé regulační změny vodivosti průduchů v počátečních fázích nastupujícího stresu suchem. Ukazuje také některé vztahy a interakce mezi jednotlivými signálními mechanismy.

Hormonální signály

Kyselina abscisová

Kyselina abscisová (ABA) je dlouhodobě považována za hlavní signál spojený s působením nedostatku vody /5, 16/. Místo syntézy ABA, pr incipy jejího transportu a mechanismus působení ABA na svěrací buňky průduchů jsou však stále předmětem intenzivního výzkumu /4, 14/. Zjištění možných regulačních účinků nízké koncentrace ABA v xylému a listech rostlin dobře zásobených vodou /21/, důkazy s yntézy A BA ve vysychajících listech rostlin /15/ a také důkazy o recirkulaci ABA mezi nadzemní částí a kořeny prostřednictvím floému a xylému /17/ ilustrují komplikovanost tohoto regulačního systému. Původní představy o přímém vztahu mezi množstvím ABA transportované z kořenů do listů a reakcí svěracích buněk se tedy ukázaly jako příliš zjednodušené. Nejnovější výsledky potvrzují v ýznamnou r oli A BA v průduchové regulaci při stresu, ale současně přináší řadu důkazů o mnoha způsobech modulace signálu ABA. Důležitý vliv na koncentraci ABA v místě jejího působení má pH apoplastu listů. Za stresu často dochází ke zvýšení pH apoplastu listů a ABA se jako slabá kyselina pohybuje ve zvýšené míře z buněk do apoplastu. Zvýšení konc entrance A BA v apoplastu v důsledku zvýšení pH následně vede k většímu přivírání průduchů. Tento regulační mechanismus je výhodný zejména protože nevyžaduje žádnou *denovo* syntézu ABA ani zrychlení transportu ABA do nadzemních částí. Významný vliv na působení ABA na průduchy má také teplota. Za teploty kolem 10 °C byla pozorována výrazně menší citlivost svěracích buněk na působení ABA /20/. Rostliny 48 h inkubované při 15 °C vykazovaly dokonce pomalejší reakci na zvýšenou koncentraci ABA i za teplot nad 20 °C /1/. Místní rychlé změny vodního potenciálu listů (např. v průběhu změn ozáření) mohou také významně ovlivňovat vztah mezi vodivostí průduchů a množstvím ABA. Pokles vodního potenciálu vede v listech ke zpomalení degradace ABA následně tedy ke zvýšení její akumulace a zpomalení rychlosti transpirace. Pokles transpirace pak následně zrychlí proces zvýšení vodního potenciálu k původním hodnotám.

Cytokininy

Průduchy mohou reagovat různě citlivě na řádově stejné koncentrace cytokininů (CK) v závislosti na druhu i typu CK /6/. Obecně zvýšení koncentrace CK zvětšuje otevřenost průduchů, avšak může také zabránit zavírání průduchů vlivem ABA /6/. Bylo také prokázáno opětovné otevření průduchůpřivřených vlivem působení ABA v důsledku působení CK /8/. Výsledky experimentů také naznačují, že pro reakci průduchů je zřejmě významnější koncentrace CK v listu než množství transportovaného CK v xylémové šťávě /10/.

Auxiny

Výzkum působení auxinů na svěrací buňky průduchů ukázal, že mohou navodit zvýšené otevření průduchů nepřímo prostřednictvím svého vlivu na zrychlení syntézy etylenu /12/. Následné pokusy s mutanty však také ukázaly i přímé působení auxinů na svěrací buňky /6/. Informací o působení auxinů na průduchovou regulaci je stále poměrně málo. Byl zjištěn také antagonistický efekt auxinů na zavírání svěracích buněk vyvolané ABA /6/. Je tedy zřejmé, že interakce auxinů s ostatními hormony hraje v regulačních procesech důležitou roli a její výzkum je do budoucna velmi potřebný.

Další chemické signály

Experimenty s roubovanými rostlinami rajčat připravenými z kořenů a nadzemních částí mutantů se zablokovanou syntézou ABA a normálních rostlin se ukázalo, že rostliny obou variant reagovaly na nedostatek vody podobně. Množství ABA transportované z kořenů do

nadzemní části bylo u jedné z variant sníženo na čtvrtinu množství u varianty druhé /9/. Tento výsledek nepřímo ukázal na existenci dalších chemických signálů, které působení ABA v dálkové signalizaci stresu doplňují.

Změna pH xylémové šťávy a následně apoplastu listů je stále nejčastěji uvažována jako faktor modulující působení ABA /22, 23/, jak už bylo také řečeno v předcházejícím textu. Přesný mechanismus vedoucí ke změně pH v xylému za stresu suchem však není zatím znám. Pravděpodobně ale souvisí se změnami v příjmu a transportu minerálních živin v důsledku změn v dostupnosti vody. Zkoumána je zejména souvislost mezi příjmem a asimilací *nitratových iontů* a změnami pH. Procesy příjmu a asimilace nitrátu jsou spojené s přesuny protonů a tedy i změnami pH. Zvýšený podíl nitrátů v podmínkách sucha asimiluje v kořeni /11/. Menší transport NO_3^- do nadzemních částí stejně jako organické kyseliny vytvořené v kořeni v souvislosti s procesem asimilace mohou být příčinou zvýšení pH v xylému /19/. Zvýšená koncentrace NO_3^- v xylému má však také negativní dopad na vodivost průduchů. Toto působení bude pravděpodobně také nepřímé, zprostředkované vyšším účinkem ABA po alkalizaci apoplastu listů. Alkalizace je zřejmě důsledek příjmu NO_3^- do buněk mezofylu a jeho asimilace /19/. Působení *organických kyselin*, zejména malátu, na vodivost průduchů je také zkoumáno. Většina efektů působení malátu na vodivost průduchů je však úzce spojena s alkalizací xylémové šťávy při zvýšení koncentrace malátu. O přímém vlivu malátu na svěrací buňky průduchů však zatím existuje velmi málo důkazů /13/. Poměrně nové jsou výsledky popisující roli *sulfátu* v dálkové signalizaci. Experimenty na kukuřici ukázaly, že množství sulfátu v xylémové šťávě při stresu suchem stoupá a tento proces je aktivně stimulován syntézou nových transportních proteinů pro sulfát /7/. Navíc byl u kukuřice prokázán synergický účinek sulfátu s ABA na zavírání průduchů /7/.

Tlakové signály

Existuje už celá řada důkazů, že kromě chemických signálů se podílí na signalizaci změn v dostupnosti vody v půdě také další signální mechanismy zejména založené na změnách tlaku v xylému /3/. Tento způsob signalizace může být pro rostliny výhodný zejména pokud dojde k rychlým změnám v dostupnosti vody nebo pokud působí signál na dlouhé vzdálenosti, například u stromů. Velmi významnou úlohu hraje v tvorbě těchto signálů hydraulická vodivost transportní cesty, která se pravděpodobně dynamicky mění podle podmínek prostředí. Mechanismus těchto změn je ale stále velmi málo prozkoumaný a může souviset jak s vodivostí xylému, tak i vodivostí dalších pletiv (např. vlivem regulace akvaporinů). Ještě méně je známo o mechanismech, kterými mohou být tlakové signály v listech vnímány. Zřejmě ale mohou být spojeny s mechanosenzitivními transportními kanály na membránách či přímo s akvaporiny /2/.

ZÁVĚR

Z uvedených příkladů je zřejmé, že dálkové signály hrají v signalizaci změn v dostupnosti vody v půdě významnou roli. Ústřední role ABA v přenosu signálu ke svěracím buňkám je zřejmá. Řada výsledků však také ukazuje na velice komplexní vztahy a interakce mezi jednotlivými složkami signálního systému schopnými modulovat působení ABA. Který z potenciálních signálů z kořenů do listů je prvním indikátorem poklesu dostupnosti vody v půdě tak zatím stále zůstává otevřenou otázkou.

LITERATURA

- /1/ Allan, A.C., Fricker, M.D., Ward, J.L., Beale, M.H., Trewavas, A.J. Two transduction pathways mediate rapid effects of abscisic acid in *Commelina* guard cells. *Plant Cell*, 6, 1994: 1319–1328.
- /2/ Christmann, A., Grill, E., Huang, J. Hydraulic signals in long-distance signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 16, 2013: 293–300.
- /3/ Comstock, J.P.: Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration.

- Journal of Experimental Botany, 53, 2002: 195–200.
- /4/ Daszkowska-Golec, A., Szarejko, I. Opening and closure of stomata – Stomatal action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 4, 2013.
- /5/ Davies, W. J., Kudoyarova, G., Hartung, W. Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24, 2005: 285–295.
- /6/ Dodd, I. C. Hormonal interactions and stomatal responses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 22, 2003: 32–46.
- /7/ Ernst, L., Goodger, J.Q.D., Alvarez, S., Marsh, E.L., Berla, B., Lockhart, E., Jung, J., Li, P.H., Bohnert, H.J., Schachtman, D.P.: Sulphate as a xylem-borne chemical signal precedes the expression of ABA biosynthetic genes in maize roots. *Journal of Experimental Botany*, 61, 2010: 3395–3405.
- /8/ Hansen, H., Dröffling, K. Root-derived trans-zeatin riboside and abscisic acid in drought-stressed and rewatered sunflower plants: interaction in the control of leaf diffusive resistance? *Functional Plant Biology*, 30, 2003: 365–375.
- /9/ Holbrook, N.M., Shashidhar, V.R., James, R.A., Munns, R.: Stomatal control in tomato with ABA-deficient roots: Response of grafted plants to soil drying. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002: 1503–1514.
- /10/ Kudoyarova, G. R., Vysotskaya, L. B., Cherkozyanova, A., Dodd, I. C. Effect of partial rootzone drying on the concentration of zeatin-type cytokinins in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) xylem sap and leaves. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2007: 161–168.
- /11/ Lips, S. H. The role of inorganic nitrogen ions in plant adaptation processes. *Russian Journal of Plant Physiology*, 44, 1997: 421–431.
- /12/ Merritt, F., Kemper, A., Tallman, G. Inhibitors of ethylene synthesis inhibit auxin-induced stomatal opening in epidermis detached from leaves of *Vicia faba* L. *Plant and Cell Physiology*, 42, 2001: 223–230.
- /13/ Patonier, M. P., Peltier, J. P., Marigo, G. Drought-induced increase in xylem malate and mannitol concentrations and closure of *Fraxinus excelsior* L. stomata. *Journal of Experimental Botany*, 50, 1999: 1223–1229.
- /14/ Peleg, Z., Blumwald, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 14, 2011: 290–295.
- /15/ Quarrie, S. A. Genetic variability and heritability of drought-induced abscisic acid accumulation in spring wheat. *Plant Cell and Environment*, 4, 1981: 147–151.
- /16/ Ren, H.B., Wei, K.F., Jia, W.S., Davies, W.J., Zhang, J.H. Modulation of root signals in relation to stomatal sensitivity to root-sourced abscisic acid in drought affected plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49, 2007: 1410–1420.
- /17/ Sauter, A., Davies, W.J., Hartung, W.: The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot. *Journal of Experimental Botany*, 52, 2001: 1991–1997.
- /18/ Tardieu, F., Simonneau, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49, 1998: 419–432.
- /19/ Wilkinson, S., Bacon, M.A., Davies, W.J. Nitrate signalling to stomata and growing leaves: Interactions with soil drying, ABA, and xylem sap pH in maize. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2007: 1705–1716.
- /20/ Wilkinson, S., Clephan, A.L., Davies, W.J. Rapid low temperature-induced stomatal closure occurs in cold-tolerant *Commelina communis* leaves but not in cold-sensitive tobacco leaves, via a mechanism that involves apoplastic calcium but not abscisic acid. *Plant Physiology*, 126, 2001: 1566–1578.
- /21/ Wilkinson, S., Davies, W. J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant Cell and Environment*, 25, 2002: 195–210.
- /22/ Wilkinson, S., Davies, W.J. Manipulation of the apoplastic pH of intact plants mimics stomatal and growth responses to water availability and microclimatic variation. *Journal of Experimental Botany*, 59, 2008: 619–631.

Poděkování

Tato práce byla finančně podpořena z projektu specifického výzkumu na MU.

VODNÍ PROVOZ POLNÍCH PLODIN - POHLED ZEMĚDĚLCŮ A ŠLECHTITELŮ

WATER REGIME OF FIELD CROPS – FROM THE VIEWPOINT OF FARMERS AND BREEDERS

Jana Klimešová, Tomáš Středa

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Zemědělská 1, 613 00, Brno, Česká republika, jana.klimesova@mendelu.cz, streda@mendelu.cz

Summary

The paper deals with results of experiments aimed at determining water regime and possible measures for adaptation to climate change. Water regime of maize (*Zea mays* L.) was evaluated in a pot experiment. Transpiration flow was measured by stem heat balance method in four irrigation variants. The intensity of the stress response to the lack of water in the soil and meteorological variables was evaluated. Differences in the transpiration values and production characteristics of plants in contrasting treatments were quantified simultaneously. The parameters of the root system and grain yield in response to different moisture and soil conditions were observed in a field experiment with spring barley (*Hordeum vulgare* L.). The amount of root biomass was significantly influenced by year (up 43.5%), locality (up 19.5%) and significantly correlated with grain yield.

Key words: maize, transpiration, drought stress, barley, root system

Souhrn

Popsány jsou výsledky experimentů, které sledují vodní režim obilnin a možná adaptační opatření na změnu klimatu. V nádobovém pokusu byl hodnocen vodní provoz kukuřice seté (*Zea mays* L.). Ve čtyřech variantách závlahy byl měřen transpirační tok metodou tepelné bilance s tonku. Byla hodnocena intenzita stresové reakce na nedostatek vody v půdě a hodnoty meteorologických prvků. Současně byly kvantifikovány rozdíly hodnot transpirace a produkčními charakteristikami rostlin v kontrastních variantách. Parametry kořenového systému a výnos zrna v reakci na odlišné vláhové a půdní podmínky byly sledovány v polním pokusu s ječmenem jarním (*Hordeum vulgare* L.). Množství biomasy kořenů bylo vždy průkazně ovlivněno ročníkem (až 43,5 %), lokalitou (až 19,5 %) a průkazně korelovalo s výnosem zrna.

Klíčová slova: kukuřice, transpirace, vodní stres, ječmen, kořenový systém

ÚVOD

Vodní provoz rostlin se již delší dobu nachází v popředí zájmu vědeckého výzkumu i zemědělské praxe. Důvodem je těsné propojení s většinou stěžejních fyziologických procesů v rostlinách – příjmem a transportem živin, hormonální regulací, fotosyntézou a následně růstem a vývojem organismu. Tento komplex projevů pak přímo ovlivňuje tvorbu výnosu

nebo odolnost rostlin vůči stresovým vlivům, tedy vlastnosti žádané pěstiteli. Často však schází nedostatečné propojení vědeckých poznatků (modelové organismy, laboratorní experimenty apod.) a jejich praktické aplikace (šlechtění, modifikovaná agrotechnika apod.). Uplatnění výsledků aplikovaného výzkumu v oblasti vodního režimu rostlin je možné pouze s ohledem na celistvost rostliny a aspekty vnějšího prostředí.

Hospodaření s vodou je komplexním procesem a jeho projevy lze hodnotit a sledovat na všech částech rostlinného těla. Při zaměření se na nadzemní část, která zprostředkovává transpiraci, je možné uplatnit velké množství metod detekce transpiračního toku, např. techniky založené na přenosu tepla vodou obsaženou ve vodivých pletivech [10], gazometrické metody nebo metody na bázi diskriminace izotopu uhlíku ^{13}C . Prýt rostliny je indikátorem změn v reakci na působení podmínek prostředí a je možné snadno kvantifikovat a měřit jeho parametry.

Půdní prostředí a atmosférické vlivy nepůsobí na nadzemní část odděleně. Kořenový systém – „skrytá polovina rostliny“ – reaguje na podněty v interakci s prýtem. Je hlavním orgánem příjmu živin a vody s včasnou vnímavostí k abiotickým stresům. Přesto se výzkum a šlechtění neuchylují k jeho studiu často. Největší překážkou je především časová a technická náročnost jeho analýzy. Větší rozšíření hodnocení kořenového systému v aplikovaném výzkumu omezuje také absence adekvátních metod umožňujících evaluaci kořenového aparátu v polních podmínkách. Ovšem právě poznání zákonitostí vztahů mezi kořenem a nadzemní částí rostlin a hodnocení parametrů kořenového systému může být cestou k pochopení projevů v rámci celistvosti rostliny.

Schopnost rostlin účinně využívat dostupnou vodu v půdě je vlastností stále více žádanou pěstiteli a tedy podnětem pro šlechtitele. Efektivní využití vody úzce souvisí se způsobilostí rostliny vhodně upravit vodní režim. To lze nejen pomocí regulace transpirace, ale i volbou optimální strategie tvorby poměru kořenového systému k prýtu. Cílem je maximalizace zisku produkčních faktorů prostředí (vody, živin, světla, atd.) při přiměřených nákladech na tvorbu a údržbu těchto orgánů.

Tyto poznatky poskytují nový pohled na stanovení šlechtitelského cíle. Je zřejmé, že ročníkové výkyvy podmínek prostředí kladou vyšší nároky na adaptabilitu plodin. Pro pěstitele v oblastech častého výskytu period sucha mohou suchovzdorné odrůdy znamenat výrazný posun v ekonomice/možnostech pěstování plodin.

Kořenový systém, jako hlavní orgán příjmu vody, se může stát kritickým článkem tvorby výnosu a odolnosti vůči stresu. V přírodě se rostliny takto adaptují na podmínky okolí (především v případě sucha). [11] uvádějí, že kořenový systém se stává hlubším, když prostředí se stává sušším. Větší investice plodin do jemných kořenů, které jsou uloženy hlouběji v půdě na úkor kořenů v povrchových vrstvách by zlepšily výnosy tím, že by rostliny získaly přístup k dalším zdrojům – jsou-li zde dostatečné [8]. Bylo prokázáno, že s ucho indukuje větší průměr kořenů u dvou druhů pšenice [2], přičemž jeden investuje více asimilátů do svých kořenů, zatímco druhý snižuje listovou plochu a množství jemných kořenů.

V rámci zemědělského výzkumu celistvosti rostlin je důležité zaměřit se podrobněji na podmínky produkčních oblastí a kvantifikovat vztahy mezi vnějšími faktory a vlastnostmi rostlin. Je vhodné určit významné znaky plodin umožňující dosahování špičkových výsledků a na základě těchto interakcí selektovat vhodné jedince. Kvantifikace těchto vztahů umožní predikovat průběh vegetace plodin a zpřesní odhady výnosu. Těmto požadavkům jsou nápomocny i metody molekulární biologie, které se snaží objasnit genetickou podstatu cílových vlastností a nalezením vhodných markerů usnadňují detekci požadovaných vlastností u genetického materiálu pro další šlechtění.

MATERIÁL A METODY

Vodní režim kukuřice seté v rozdílných vláhových podmínkách

Nádobový pokus byl zložen v podmínkách s omezeným přístupem srážek (stínění polykarbonátovými deskami). Ve čtyřech variantách byl na základě pedologického rozboru půdy (plná vodní kapacita – vlhkost při 39 objemových %, bod vadnutí – vlhkost při 21 objemových %) udržován od fáze BBCH 40 rozdílný závlahový režim. Ve variantě D byl na úrovni objemové vlhkosti půdy 23 % udržován silný stres suchem (15 % využitelné vodní kapacity – VVK); ve variantě C byl udržován středně silný stres (25 % VVK); ve variantě B byl udržován mírný stres (50 % VVK), ve variantě A (kontrola) nebyl stres suchem indukován (75 % VVK). Do každé nádoby o objemu 200 dm³ bylo vyseto 6 rostlin kukuřice seté (linie 2087 – šlechtitelský materiál CEZEA Čejč). U rostlin byly průběžně sledovány fenologické údaje a v pozdější fázi pokusu změny v habitu jedinců následkem působení stresu.

Transpirace byla monitorována pomocí kontinuálního měření toku xylémové šťávy (sap flow). Měřicí systém EMS 62 (EMS Brno, CZ) využívá metody „stem heat balance“ (SHB) /7/ – Obr. 1. SHB je neinvazivní, citlivá metoda, založená na fyzikálních vlastnostech vody. Hodnoty transpiračního toku jsou udávány v jednotkách [kg.h⁻¹]. Měřeny byly vždy dvě rostliny z každé varianty od fáze BBCH 50 – metání lat až do fáze BBCH 89 – plná zralost. Paralelně byly monitorovány meteorologické prvky – relativní vlhkost vzduchu [%] a teplota [°C] vzduchu; objemová vlhkost půdy [%]; teplota [°C] půdy odporovými; globální solární radiace [W.m⁻²]; půdní vodní potenciál [-bar]. Pokusná data byla zpracována v programu MINI32 (EMS Brno) a statisticky vyhodnocena v programu STATISTICA 10 (StatSoft Inc., Tulsa, OK). Byla provedena korelační analýza, analýza variance a následné testování Tukeyovým HSD testem.

Parametry kořenového systému ječmene jarního

Pokus s vybranými odrůdami ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L.) byl zložen na dvou lokalitách Hrubčice a Želešice v roce 2010 a 2011. U pěti odrůd – Aksamit, Blaník, Aktiv, Bojos a Radekast byla hodnocena velikost kořenového systému a jeho rozložení ve vrstvách půdního profilu do hloubky 60 cm. Pro analýzu byla vybrána vždy jedna rostlina od každé odrůdy z každé lokality. Vzorky půdy a kořenů byly odebrány soil – core metodou /1/ ve fázi plnění zrn (BBCH 70) do hloubky 60 cm. Vzorek byl následně naskenován a vyhodnocen programem WinRHIZO (Régent Instruments Inc., Quebec, Kanada). V jednotlivých vrstvách byla analyzována délka kořenů a zjištěna intenzita prokoření (root length density, RLD [cm.cm⁻³]) na jednotku půdy a srovnána s výnosem uvedených odrůd na stanicích ÚKZÚZ Hrubčice a Chrlice. Byla provedena analýza variance s následným testováním Tukeyovým LSD testem (P = 0,05) a korelační analýza.



Obr. 1. Měření transpiračního proudu pomocí čidel EMS 62.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vodní režim kukuřice v rozdílných vláhových podmínkách

Vegetace kukuřice byla rozdělena do třech období, dle projevu změn v transpiraci a fenologické fáze rostlin (27. 7. – 7. 8. BBCH 53 – 63 ; 8. 8. – 24. 8. BBCH 63 – 73; 25. 8. – 14. 9. BBCH 73 – 89). Závislost transpirace na meteorologických prvcích byla hodnocena pro každé období zvlášť. Projevila se statisticky průkazná závislost transpirace na vybraných meteorologických prvcích – na globální radiaci a teplotě vzduchu. Tento vztah potvrzují i /6/, /9/. Vztah intenzity transpirace a meteorologických prvků byl odlišný v závislosti na fázi růstu a variantě (Tab. 1).

Tab. 1: Tabulka korelačních koeficientů závislosti transpiračního toku na teplotě vzduchu a globální radiaci. Statisticky průkazné hodnoty ($P = 0,05$) jsou označeny *, ($P = 0,01$) jsou označeny **

Varianta	Proměnná	Období 1	Období 2	Období 3
A	Teplota vzduchu	0,934**	0,627**	0,665**
	Globální radiace	0,881**	0,670**	0,640**
B	Teplota vzduchu	0,862**	0,537*	0,674**
	Globální radiace	0,873**	0,500*	0,722**
C	Teplota vzduchu	0,902**	0,516*	0,681**
	Globální radiace	0,699*	0,604**	0,773**
D	Teplota vzduchu	0,698*	0,030	0,022
	Globální radiace	0,439	0,563*	0,101

Měření transpirace pomocí metody „stem heat balance“ detekovalo rozdíly ve vodním provozu rostlin. Průměrné denní hodnoty sap flow vykazovaly mezi jednotlivými variantami průkazné rozdíly ($P = 0,05$) (Tab. 2). Odlišný vlhkostní režim tedy způsobil průkazné rozdíly

v transpiraci jednotlivých variant. /3/ rovněž potvrzuje růst diferencí v transpiraci mezi kontrolní a nejsušší variantou pokusu s prodloužením doby sníženého přísunu vody.

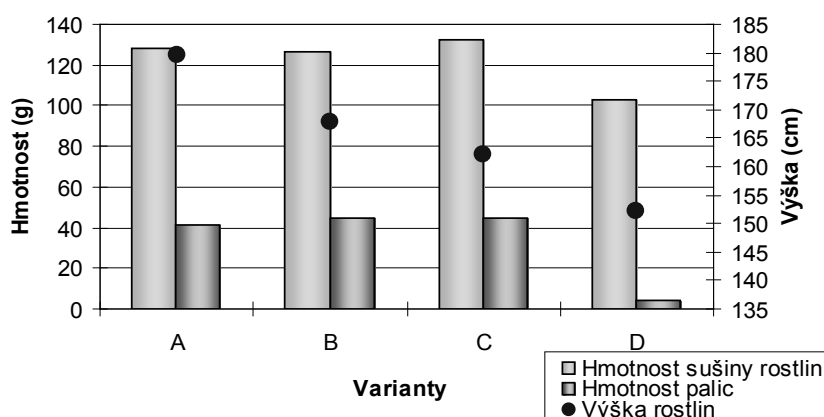
Tab.2: Průměrné denní hodnoty sap flow ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) na rostlinu a následné testování (Tukeyův-HSD test).

	Období 1	Období 2	Období 3
Varianta A	0,01861a	0,01044a	0,00319a
Varianta B	0,01290ab	0,00668b	0,00287a
Varianta C	0,00701b	0,00510b	0,00341a
Varianta D	0,00698b	0,00404b	0,00003b

Byl hodnocen vztah průměrných denních hodnot sap flow ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) a objemové vlhkosti půdy z období celé vegetace. Intenzita sucha ovlivnila průkazně transpiraci rostlin pouze ve dvou nejvíce stresovaných variantách C a D. Projevila se tak statisticky vysoce průkazná závislost ve stresovaných variantách D ($r = 0,528^{**}$; $n = 48$) a C ($r = 0,395^{**}$; $n = 48$). Ve variantě A a B nebyl zjištěn statisticky významný vztah mezi výkonem transpirace a objemovou vlhkostí půdy v nádobě.

Rozdílný vláhový režim ovlivnil vybrané znaky nadzemní biomasy. Transpirace rostlin v období 2 vysoce průkazně ovlivnila výšku sledovaných jedinců ($r = 0,973^{**}$). Průkazný vliv transpirace na výšku rostlin kukuřice v závislosti na půdní vlhkosti také potvrzují /3/.

V období 3 byla zjištěna korelace mezi sap flow a hmotností sušiny celé rostliny ($r = 0,997^{**}$) a hmotností palic ($r = 0,987^{**}$) (statisticky průkazný rozdíl mezi variantou D a A,B,C). Hodnoty vybraných fyto-metrických charakteristik dle závlahových režimů dokumentuje Graf 1.



Graf 1: Vybrané fyto-metrické charakteristiky rostlin dle závlahových režimů.

Přesto, že rostliny v kontrolní variantě A (75 % VVK) nebyly vystaveny vláhovému stresu, poskytly pouze o necelé 2 % vyšší výnos sušiny biomasy oproti variantě B (50 % VVK). Výnos ve srovnání s variantou C (25 % VVK) byl o 3 % nižší. Rostliny ve variantě D (15 % VVK) poskytly o 20 % nižší výnos. Transpirační proud v mírně stresované variantě B poklesl oproti kontrole o 30 % a varianta D transpirovala téměř o 70 % méně.

Stres suchem byl příčinou změn v transpiraci a produkci nadzemní hmoty kukuřice. Očekávaný pokles výnosu biomasy ve stresovaných variantách B a C nebyl pozorován. Lze se domnívat, že rostliny využily obranné stresové mechanismy na buněčné úrovni, rovněž

velkou roli mohl sehrát kořenový systém rostlin. Pro detailnější vysvětlení stresových reakcí kukuřice bude pokus hodnocen v dalších letech.

Parametry kořenového systému ječmene jarního

Množství biomasy kořenů bylo vždy průkazně ovlivněno ročníkem (až 48,7 %), lokalitou (až 19,4 %) a jejich vzájemnou interakcí. Vliv těchto faktorů se lišil v závislosti na hloubce půdního profilu. V hlubších vrstvách se projevil i efekt odrůdy. Statisticky průkazně vyšší hodnoty prokořenění RLD byly zjištěny na všech lokalitách vždy v roce 2011. Rostliny tvořily na lokalitě Želešice více kořenů v mělké vrstvě půdy. Nejvyšší hodnoty RLD byly zjištěny ve vrstvě 0–10 cm (Tab. 3). Pro obilniny jako zástupce kulturních trav je toto rozložení kořenového systému typické [4]. Na obou lokalitách byla u většiny odrůd pozorována tendence zvyšovat RLD ve vrstvě 40–60 cm. Průkazná závislost výnosu zrna a intenzity prokořenění byla determinována pouze ve středních vrstvách půdního profilu. V humidním roce 2010 byla zjištěna průkazná negativní korelace mezi intenzitou prokořenění a výnosem zrna. Ve spíše suchém roce 2011 byla zjištěna průkazná pozitivní vazba.

Tab. 3: Procentuální zastoupení množství kořenů ve vrstvách půdního profilu

Hloubka	Hrubčice 2010	Želešice 2010	Hrubčice 2011	Želešice 2011
0–10 cm	45,7 %	63,0 %	46,3 %	60,2 %
10–20 cm	17,1 %	15,0 %	14,6 %	8,5 %
20–30 cm	10,0 %	4,6 %	12,6 %	8,5 %
30–40 cm	6,3 %	4,9 %	7,6 %	7,9 %
40–50 cm	10,5 %	4,7 %	9,0 %	7,4 %
50–60 cm	10,0 %	7,2 %	10,0 %	7,5 %

Ve srážkově bohatém roce 2010 byla tvorba většího množství kořenové biomasy spíše vlastností negativní, která záporně ovlivnila výši výnosu. RLD v roce 2011 se projevila více odlišně v rámci odrůdových rozdílů než v rámci vlivu lokality.

Ve všech jednotlivých vrstvách půdy vytvořily rostliny statisticky průkazně více kořenů v roce 2011. Ve srážkově nadnormálním roce 2010 rostliny pravděpodobně nebyly nuceny tvořit velké množství kořenové biomasy pro získání optimálního množství živin a vody. Obdobnou reakci na množství dostupné vody při tvorbě kořenového systému 20 odrůd ječmene zjistili [5]. Vyšší výnos zrna dosáhly odrůdy s větším kořenovým systémem především v „suchém“ roce 2007.

V obou sledovaných letech bylo statisticky průkazně větší množství kořenů zjištěno na lokalitě Želešice v hloubce 0–20 cm (pouze mělká kultivace půdy, vlhčí lokalita). V hlubších vrstvách bylo RLD vyšší na úrodnější ale sušší lokalitě Hrubčice. Vliv odrůdy na prokořenění byl průkazný pouze v hloubce 40–60 cm. Efekt odrůdy byl téměř ve všech vrstvách interagován především s efektem ročníku, v jednom případě s efektem lokality. Na základě provedené analýzy variance lze usuzovat na odrůdové rozdíly v strategii tvorby kořenového systému, kdy se některé odrůdy jeví jako plastické v jednotlivých letech (průkazně rozdílné hodnoty RLD).

Uvedené poznatky a výsledky je možné využívat pro výběr genotypů a jedinců při šlechtění nových odrůd obilnin. Selektce na efektivní hospodaření s vodou, selektce na větší, vitálnější nebo účinnější kořenový systém, může být v suchých podmínkách prostředí efektivním adaptačním opatřením.

LITERATURA

- /1/ Böhm, W. : Methods of Studying Root Systems. Springer, Berlin, 1979:188. ISBN 3-540-09329-X.
- /2/ Ebrahimi, E., Bodner, G., Kaul, H-P, Dabbaq, A.: Effects of water supply on roots traits and biological yield of Durum (*Triticum durum* Desf.) and Khorasan (*Triticum turanicum* Jakubz) wheat. Plant Biosystems (in print), 2013, doi:10.1080/11263504.2013.850120.
- /3/ Gavloski, J.E., Whitfield, G.H., Ellis C.R.: Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). Canadian Journal of Plant Science, 72, 1992: 361–368.
- /4/ Gregory, P.: Plant roots, growth, activity and interaction with soils. Blackwell Publishing, Oxford, 2006: 318. ISBN-10: 1-4051-1906-3.
- /5/ Chloupek, O., Dostál, V., Středa, T., Psota, V., Dvořáčková, O.: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. Plant Breeding, 129, 2010: 630–636.
- /6/ Irmak, S., Mutibwa, D. : On the dynamics of canopy resistance: Generalized linear estimation and relationships with primary micrometeorological variables. Water Resources Research, 46, 2010.
- /7/ Kučera, J., Čermák, J., Penka, M.: Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. Biologia Plantarum, 19, 1977: 413–420.
- /8/ King, J., Gay, A., Sylvester-Bradley, R., Bingham, I., Foulkes, J., Gregory, P., Robinson, D.: Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: towards an economic optimum. Annals of Botany, 91, 2003: 383–390.
- /9/ Li H., Liu, Y., Cai, J., Mao, X.: Change of sap flow rate and stem diameter microvariation of summer maize and influential factors. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 27, 2011: 187–191.
- /10/ Smith, D.M., Allen, S.J.: Measurement of sap flow in plants stems. Journal of Experimental Botany, 47, 1996: 1833–1844.
- /11/ Schenk, H. J., Jackson, R.B.: The global biogeography of roots. Ecological Monographs, 72, 2002: 311–328.

Poděkování

Práce vznikla s finanční podporou projektu QI111C080.

ELEKTRICKÁ KAPACITA KOŘENŮ – PERSPEKTIVNÍ SELEKČNÍ KRITÉRIUM

ELECTRICAL CAPACITANCE OF ROOTS – PERSPECTIVE SELECTION CRITERION

Anna Heřmanská¹, Ladislav Bláha², Martin Hromádko³

¹SELGEN, a.s., Šlechtitelská stanice Úhřetice, 538 32 Úhřetice, ČR, hermanska@selgen.cz

²VÚRV, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně, ČR, lblaha@vurv.cz

³SELTON, s.r.o., Stupice 24, 250 84 Sibřina, ČR, hromadko@selgen.cz

Summary

With the diallel crossing of spring wheat seven varieties, twenty combinations were obtained in 2009. The populations were sown in 2010–2012 at three localities. In generations F2–F4 in a field experiment, by measuring the electrical capacitance (in nF) were selected plants with the large and small root system. A significant correlation between the electrical capacitance and grain yield was obtained. The next aim was to find a relation between electrical capacitance and root morphology. In a pot experiment last year (2013), the parameters of the root system of three selected F5 combinations and two parent varieties were evaluated as well as in response to water deficit. Significant correlations between the electrical capacitance and root characteristics were confirmed also in this type of experiment.

Key words: spring wheat, root system size, electrical capacitance, selection, drought

Souhrn

Dialelním křížením sedmi odrůd pšenice jarní jsme získali v roce 2009 dva set kombinací, které byly v letech 2010–2012 vysety na třech lokalitách. V generacích F2–F4 jsme v polním pokusu na základě měření elektrické kapacity kořenů (v nF) vybírali ke sklizni rostliny s velkým a s malým kořenovým systémem. Byla prokázána významná korelace mezi elektrickou kapacitou a výnosem zrna. Cílem práce dále bylo zjistit, zda elektrická kapacita souvisí i s morfologií kořenů. V nádobovém pokusu založeném v roce 2013 jsme zhodnotili parametry kořenového systému tří vybraných kombinací F5 a dvou rodičovských odrůd jarní pšenice i v reakci na nedostatek vody. V významná korelace mezi elektrickou kapacitou a vlastnostmi kořenů byla potvrzena i zde.

Klíčová slova: pšenice jarní, velikost kořenového systému, elektrická kapacita, selekce, sucho

ÚVOD

V měnícím se klimatu je čím dále častější větší variabilita průběhu počasí. Negativní dopad na zemědělské plodiny, převážně na obilniny, má nedostatek vody, sucho. V hlavním období růstu, kdy je nejvyšší spotřeba vody, se nejvíce rozhoduje o výši výnosu. I krátkodobý deficit vody doprovázený vysokými teplotami dokáže při nízkém obsahu půdní vody redukovat výnos plodin. Rostliny, mající schopnost vyvinout větší kořenový systém s větší hloubkou pronikání v suchém roce, lépe využívají půdní vodu a zajišťují dostatečný příjem živin než rostliny s menším kořenovým systémem. Výběrem odolnějších genotypů vůči suchu bychom předešli kolísáním výnosů obilnin v jednotlivých letech.

Sucho a vysoké teploty jsou v zemědělství nejdůležitější faktor limitující výkon rostlin. Význam vlastností kořenů pro odolnost vůči abiotickým stresům je velký. Kořeny jsou

nejcitlivějším orgánem rostliny, který svými morfologickými a fyziologickými vlastnostmi reaguje podstatně citlivěji na vnější prostředí, nežli nadzemní částí rostliny. Na základě vlastností kořenového systému lze vybírat rostliny odolnější suchu /3/.

V době nepříznivých vnějších podmínek hraje značnou roli poměr kořenů k nadzemní části rostliny a osmotické přizpůsobení. U jarních pšenic pak zejména rychlost počátečního růstu zárodečných kořenů a doba trvání maximálního rozvoje kořenů v době nalévání zrna, protože v tomto období docílají k transportu z zásobních látek z es tébla do klásku. V elkém významu má schopnost změnit morfologii kořenů, prodloužit jejich hloubku pronikání do hlubších vrstev půdy, v případě nástupu sucha i na úkor snížení jejich celkového objemu, a to zejména v době po kvetení. Čím do pozdější fáze vývoje a růstu je to možné, tím lépe. Změna morfologie kořenů po nástupu sucha je často považována za jeden z nejdůležitějších faktorů. Během sucha se v tomto případě mění poměr kořenů k nadzemní části ve prospěch kořenů nebo alespoň dojde ke zvětšení hloubky pronikání kořenů po nástupu sucha, které zajistí větší příjem vody a živin /1/.

Při vývoji metod hodnocení kořenového systému se soustřeďuje pozornost zejména na strukturu kořenového systému, hloubku pronikání, hmotnost, morfologii, jeho reakce na vnější prostředí, hodnocení aktivity atd. Jde zejména o vlastnosti mající bezprostřední vliv na produkci rostlin, a které jsou využitelné přímo při selekci. Jednou z metod je využití elektrické kapacity (měřené v nF nebo v pF) kořenového systému, kdy se měří povrch kořenů pomocí elektrického náboje, který se vytvoří na povrchu kořene po připojení přístroje k rostlině a jeho uzemnění (povrch kořenů, pravděpodobně i objem). Měření vyžaduje stejnou vlhkost kultivačního média – půdy a stejné vývojové fáze rostlin. Metoda je jednoduchá, dokáže vyloučit genotypy s větším objemem kořenů, nerozlišuje však jeho morfologii (např. hloubku pronikání kořenů do půdy) /1/.

MATERIÁL A METODA

V roce 2009 byl založen na Šlechtitelské stanici Úhřetice odrůdový pokus pšenice jarní. Ze sortimentu 37 odrůd bylo, na základě získaných měření elektrické kapacity (EK) kořenů ve fázích BBCH 34-39 a po přihlídnutí k vegetačnímu hodnocení, vybráno k neúplnému dialelnímu křížení sedm rodičovských odrůd: Amaretto (DEU), Bárbaro-B (CHL), Bouth 4 (SYR), Frontana (MEX), Gann, Septima a Zuzana (všichni tři CZE). Získané materiály F1 byly odeslány na přemnožení do Chile. V letech 2010–2012 bylo vyzkoušeno 20 získaných kombinací a sedm rodičovských odrůd na třech lokalitách – Hustopeče u Brna, Chlumeck nad Cidlinou a Úhřetice. Každá odrůda a kombinace byly zastoupeny na dané lokalitě 40 rostlinami v F2 a 80 rostlinami v F3 a F4. Během vegetace probíhalo v těchto generacích měření EK kořenů šesti středových rostlin ve všech řádcích, ve 4 resp. 8 opakováních a ve dvou termínech vývojové fáze pšenice, ve fázi sloupkování až nadešení listové pochvy (BBCH 34-43) a v době metání až kvetení (BBCH 59-69). Větší rozpětí BBCH bylo dáno rozdílnou ranností sledovaných rostlin. Ve všech kombinacích jarní pšenice byly vybírány v F2–F4 generaci ke sklizni zvláště rostliny s velkou a s malou elektrickou kapacitou, resp. velikost kořenového systému byla zjišťována pomocí metody měření elektrické kapacity kořenů.

Měření elektrické kapacity kořenů probíhalo přístrojem *LCR Meter ELC-133A*, který byl nastaven na paralelní kapacitu při měřicí frekvenci 1 kHz. Hodnoty EK jsou uváděny v jednotkách nanofaradů (nF). Při měření prochází střídavý proud obvodem mezi kořenovým systémem a půdou po připojení dvou elektrod – jedné sondy v půdním prostředí, kde rostlina roste (v polovině sponu) a druhé připevněné na kleště na bázi všech stébel rostliny ve výšce cca 1–2 cm nad povrchem půdy (bez kontaktu s půdou) /4, 5/.

V roce 2013 byl experiment rozšířen o nádobový pokus pro zhodnocení kořenové soustavy v rozdílných vláhových podmínkách. Sledovány byly vybrané parametry kořenového systému ve vztahu k hodnotě EK. Pro založení nádobového pokusu ve VÚRV

byly vybrány tři kombinace generace F4 a dvě rodičovské odrůdy, a to kombinace SG-U642 (Amaretto/Bhouth 4), SG-U646 (Granny/Bhouth 4), SG-U648 (Granny/Frontana) a odrůdy Amaretto a Bhouth 4. Hodnocení kořenů probíhalo ve dvou termínech – v květnu a listopadu. Založeny byly dva typy pokusu – standard (plná vodní kapacita vody v půdě) a částečné sucho, kdy obsah vody byl udržován na 40 % optimálního obsahu vody. Pěstování proběhlo v nádobách s homogenizovanou půdou (ornice a hnědozem na spraši, 1× zalito úplným živným roztokem za účelem vyrovnání poměru dostupných živin). Částečné sucho bylo simulováno během celé vegetace. Kontrola obsahu vody v půdě probíhala pomocí přístroje *HH2 moisture meter* fi Delta-T-Devices ve třech vrstvách, tj. pod povrchem a z boku nádob (stanoven průměr).

Pokus byl ukončen v růstové fázi metání vyplavením kořenů. Rostliny byly dále rozborovány, po omytí preparovány, skenovány a vyhodnoceny ve standardním programu photoshop pomocí zásuvního modulu *Measure.8bf*. Délka kořene byla vypočtena jako polovina obvodu odvozená z počtu průsečíků obvodu se všemi horizontálními, vertikálními a diagonálními řadami pixelů /2/. Autorem programu použitého v této práci je RNDr. Dr. Jiří Janáček z Fyziologického ústavu České akademie věd v Praze.

VÝSLEDKY A DISKUZE

U vybraných genotypů jarní pšenice jsme hodnotili vztah mezi velkou (VKS) a malou (MKS) velikostí kořenového systému a výtěsem zrna v polních podmínkách a základními parametry kořenů v laboratorních podmínkách. Naměřené hodnoty z polního a nádobového pokusu jsou uvedeny v Tab. 1 a 2.

Elektrická kapacita kořenů byla u rodičovských odrůd naměřena vyšší u odrůdy Amaretto. Odrůda Amaretto měla také v předcházející studii /3/ ve třech sledovaných letech nejvyšší průměrnou velikost kořenového systému, a to i v jednotlivých vývojových fázích sloupkování a metání. U odrůdy Bhouth 4 patřila EK k nejnižším naměřeným hodnotám nF.

V nádobovém pokusu bylo hodnoceno působení rozdílných vláhových režimů na parametry kořenového systému a nadzemní části rostlin jarní pšenice. Rostliny pšenice v nádobách, ve kterých byl udržován stres suchem, měly menší parametry než rostliny ve standardním vláhovém režimu. Rozdílné vláhové podmínky ovlivnily značně produkci nadzemní biomasy.

Tab. 1: Hodnocení pšenice jarní v polních podmínkách v letech 2010-2012 na třech lokalitách - elektrická kapacita kořenů (EK v nF) a celková hmotnost zrna (CV v g) přepočtena na 1 rostlinu

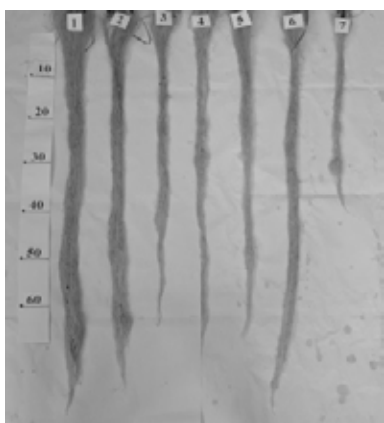
Označení		Hustopeče 2010		Úhřetice 2010		Hustopeče 2011		Úhřetice 2011		Chlumec nad C. 2011		Chlumec nad C. 2012	
		EK (nF)	CV (g)	EK (nF)	CV (g)	EK (nF)	CV (g)	EK (nF)	CV (g)	EK (nF)	CV (g)	EK (nF)	CV (g)
SG-U642	VKS	5,45	3,13	5,44	8,54	5,41	4,53	6,11	18,03	4,22	10,17	7,11	9,86
	MKS	2,90	1,14	3,25	4,37	4,48	2,37	4,40	3,61	4,11	8,19	4,81	4,73
SG-U646	VKS	4,41	2,08	5,84	7,59	3,69	6,85	5,79	7,60	3,72	9,30	8,16	11,40
	MKS	2,53	1,25	4,14	7,66	3,47	*	4,43	5,38	4,25	16,53	5,68	4,23
SG-U648	VKS	4,86	2,53	5,05	7,54	5,18	6,83	6,65	8,45	4,09	10,22	7,88	10,08
	MKS	2,81	1,68	3,16	7,10	4,73	*	4,83	11,90	3,85	4,54	4,75	5,38
AMARETTO		4,32	2,59	5,57	8,00	4,67	6,03	7,59	18,50	4,86	12,13	8,38	*
BHOUTH 4		3,66	1,73	3,62	6,26	3,39	1,10	4,90	7,65	4,99	11,13	6,68	*

Pozn.: * nesklizeno; VKS – velký kořenový systém, MKS – malý kořenový systém.

Rozdíly ve velikosti kořenového systému rodičovských odrůd pšenice jarní jsou patrné i z hydroponického prostředí jak je vyobrazeno na Obr. 1.

Tab. 2: Získané parametry tří kombinací F5 a dvou odrůd pšenice jarní z laboratorního prostředí ve dvou termínech sledování v roce 2013 (květen 5/2013 a listopad 11/2013). Všechny parametry jsou průměrné hodnoty jedné rostliny

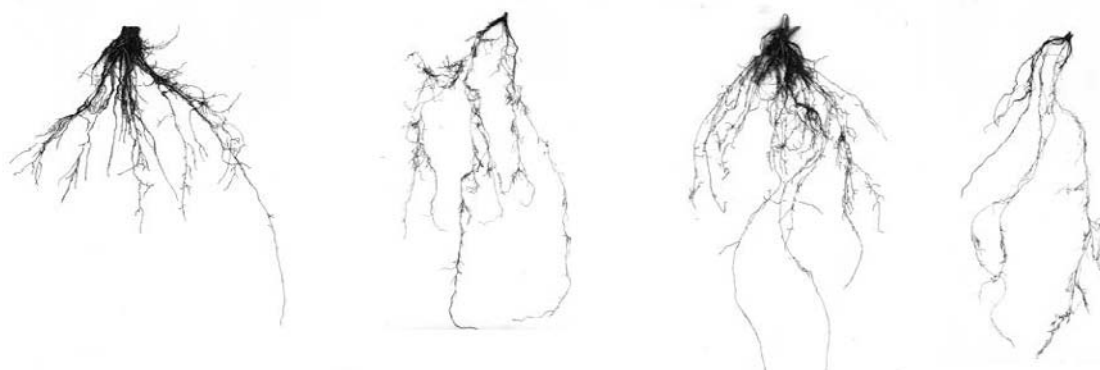
Označení		EK (nF) 5/2013	SUŠINA (g) 5/2013	OBJEM (cm ³) 5/2013	NADZ. HMOTA (g) 5/2013	EK (nF) 11/2013	SUŠINA (g) 11/2013	POVRCH (cm ²) 11/2013	CELKOVÁ DÉLKA (cm) 11/2013
SG-U642	VKS standard	1,55	0,41	5,93	11,25	2,48	0,32	36,68	167,03
	VKS sucho	0,65	0,24	3,44	4,06	1,10	0,08	37,06	117,05
	MKS standard	1,37	0,26	3,61	8,61	1,58	0,18	39,02	160,77
	MKS sucho	0,28	0,11	2,50	2,50	0,87	0,06	37,26	126,00
SG-U646	VKS standard	1,47	0,48	7,81	10,63	2,30	0,27	38,30	370,40
	VKS sucho	0,46	0,18	2,36	3,42	0,98	0,14	37,66	187,90
	MKS standard	1,31	0,35	4,41	11,18	1,23	0,14	34,32	375,06
	MKS sucho	0,42	0,17	1,38	3,33	0,55	0,08	36,78	170,06
SG-U648	VKS standard	2,44	0,72	3,75	12,19	1,83	0,19	35,33	919,63
	VKS sucho	0,43	0,46	2,75	3,50	1,15	0,06	38,53	619,50
	MKS standard	1,72	0,20	2,07	10,00	1,43	0,18	37,97	841,43
	MKS sucho	0,26	0,16	1,66	3,33	0,44	0,09	38,90	462,38
AMARETTO	standard	1,49	0,49	3,57	10,71	2,14	0,50	37,82	1019,72
	sucho	0,12	0,23	1,94	3,89	1,64	0,13	37,21	1092,67
BHOUTH 4	standard	1,85	0,66	3,21	13,21	2,06	0,24	34,47	949,75
	sucho	0,84	0,30	1,78	5,00	0,92	0,12	35,57	622,73



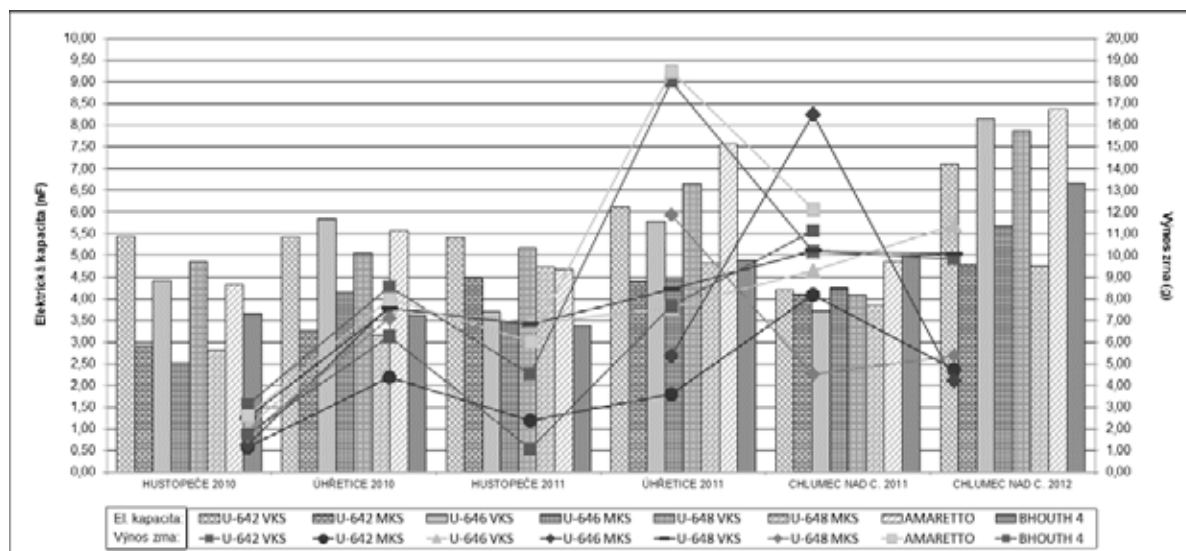
Obr. 1: Kořenový systém odrůd pšenice jarní z hydroponie: 1-Zuzana, 2-Amaretto, 3-Septima, 4-Granny, 5-Frontana, 6-Bárbaro-B, 7-Bhouth 4. Zobrazen je vždy svazek 10 rostlin.

Potomstva rostlin pšenice SG-U642 a SG-U648 vyselektovaná na větší kořenový systém prokázaly větší elektrickou kapacitu a vyšší výnos než potomstva s malým kořenovým systémem. Avšak u SG-U646 měl na lokalitě Chlumeč nad C. v roce 2011 vyšší EK i výnos a nepatrně vyšší výnos i na lokalitě Úhřetice (r. 2010) selekcí získaný malý kořenový systém. Selektce rostlin na velký a malý kořenový systém, který se projevil ve výnosu zrna je patrný z grafu 1. Potomstva v ybraných rostlin s větším kořenovým systémem se v nádobovém pokusu vyznačovaly vyšší hmotností sušiny a objemem kořenů, ale i nadzemní biomasou. Větší kořeny jsou většinou zárukou vyššího výnosu biomasy a zrna.

Na obrázku 2 je vidět rozdíl ve velikosti kořenů kombinace SG-U642 u dvou variant – standard a částečné sucho.



Obr. 2: Kořenový systém SG-U642 (zleva doprava): VKS – standard, VKS – sucho, MKS – standard, MKS – sucho.



Graf 1: Vztah mezi elektrickou kapacitou (nF) kořenů a výnosem zrna (g) pšenice jarní v polním hodnocení na průměr jedné rostliny.

Byly hledány korelace mezi EK a výnosem zrna (polní pokus) a mezi EK a vlastnostmi kořenů včetně nadzemní biomasy v laboratorním pokusu (Tab. 3, 4). Prokázána byla přímá souvislost mezi EK kořenů a výnosem zrna, korelace uvádí tabulka 3. Vztah mezi EK kořenů a výnosem zrna byl statisticky vysoce průkazný převážně v nejmladší generaci F2. Větší kořenový systém pšenice lze považovat za jeden z faktorů ovlivňující výnos zrna.

Statistické hodnocení výsledků nádobového pokusu v roce 2013 uvádí tabulka 4, kde hodnoty velikosti kořenového systému (EK) z obou variant byly srovnávány se základními parametry. Vysoce průkazná korelace byla zjištěna převážně mezi EK a sušinou. Zároveň se vysoce průkazný vztah projevil mezi EK a nadzemní biomasou. Záporná korelace zjištěná u povrchu (11/13) je dána tím, že 80 % povrchu tvoří jednobuněčné vychlípeniny, tedy kořenové vlášení, které nelze dostatečně podchytit (zde máme jen hlavní kořeny).

Tab. 3: Korelace mezi elektrickou kapacitou kořenů (nF) a výnosem zrna (g) na jednu rostlinu v polním testu

Lokalita - ročník	Hustopeče 2010	Úhřetice 2010	Hustopeče 2011	Úhřetice 2011	Chlumec nad C. 2011	Chlumec nad C. 2012
Korelace	0,940**	0,721**	0,393	0,720**	0,456*	0,939**

Pozn.: * statisticky průkazná korelace na hladině 5 %, ** statisticky vysoce průkazná korelace na hladině 1 %

Tab. 4: Korelace mezi elektrickou kapacitou (EK) a parametry kořenů z nádobového pokusu

Korelace	Sušina 5/13	Objem 5/13	Nadz. hmota 5/13	Sušina nadz. hm. 5/13	Sušina 11/13	Povrch 11/13	Celková délka 11/13
EK 5/2013	0,751**	0,511*	0,941**	0,902**	0,602*	-0,380	0,338
EK 11/2013					0,795**	-0,135	0,354
EK 5/2013 standard	0,686**	-0,291	0,570*	0,217	-0,162	-0,375	0,594*
EK 11/2013 standard					0,677**	0,160	-0,027
EK 5/2013 sucho	0,343	0,224	0,687**	0,612*	0,074	-0,596*	-0,290
EK 11/2013 sucho					0,331	-0,148	0,611*
EK 5/2013 VKS	0,822**	0,471*	0,944**	0,897**	0,635*	-0,741**	0,555*
EK 11/2013 VKS					0,937**	-0,245	0,067
EK 5/2013 MKS	0,676**	0,533*	0,946**	0,920**	0,955**	-0,109	0,542*
EK 11/2013 MKS					0,875**	-0,016	0,240

Pozn.: 5/2013 – květen 2013, 11/13 – listopad 2013; * statisticky průkazná korelace na hladině 5 %, ** statisticky vysoce průkazná korelace na hladině 1 %

Výsledky jsme potvrdili, že tato nepřímá metoda hodnocení kořenového systému pomocí metody měření elektrické kapacity kořenů je vhodnou a rychlou screeningovou

metodou pro určení velikosti kořenového systému rostlin. Podle /4/ se hodnotí velikost kořenového systému v půdě dle jeho elektrické kapacity, měřené ve vztahu k půdě, ve které roste; čím větší je tato elektrická kapacita, tím větší je hmotnost i objem kořenového systému. Cílem práce také bylo vyhodnocení znaků kořenového systému pšenice jarní a jeho reakce na nedostatek vody. Této reakce je možné využít pro výběr tolerantních genotypů k suchu. Uvedené výsledky prokázaly, tak jako v /6/, že vhodným selekčním kritériem u obilnin pro suché podmínky je velikost kořenového systému měřená pomocí této metody.

LITERATURA

- /1/ Bláha, L., Vyvadilová, M.: Současné možnosti využití hodnocení kořenového systému při pěstování a šlechtění rostlin. In: Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J. (ed.): Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin. VÚRV, v.v.i., Praha, 2010: 276–296.
- /2/ Harris, G. A., Campbell, G. S.: Automated quantification of roots using a simple image analyzer. *Agronomy Journal*, 81, 1989: 935–938.
- /3/ Heřmanská, A., Bláha, L.: Velikost kořenového systému – možné selekční kritérium pro suchovzdornost pšenice. *Úroda* 12, 2012, vědecká příloha časopisu: 155–158. ISSN 0139-6013.
- /4/ Chloupek, O.: Evaluation of the size of a plant's root system using its electrical capacitance. *Plant and Soil* 48, 1977: 525–532.
- /5/ Středa, T., Dostál, V., Chloupek, O.: Šlechtění a výběr odrůd obilnin s větší tolerancí k suchu. *Úroda*, 57 (5), 2009: 10–12.
- /6/ Středa, T., Hajzler, M., Chloupek, O.: Kořenový systém jako faktor tvorby výnosu a kvality polních plodin. In: Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci rostlin. VÚRV, v.v.i., Praha, 2013: 75–96. ISBN 978-80-7427-129-8.

Poděkování

Tato práce vznikla za finanční podpory MZe ČR při řešení projektu 0002700604.

PROBLEMATIKA AGROMETEOROLOGICKÝCH A FENOLOGICKÝCH POZOROVÁNÍ

CONTRIBUTION TO AGROMETEOROLOGICAL AND PHENOLOGICAL OBSERVATIONS

Věra Kožnarová¹, Lenka Hájková²

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, koznarova@af.czu.cz

²Český hydrometeorologický ústav, oddělení biometeorologických aplikací, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Pomořany, Česká republika

Summary

Agrometeorological and phenological observations are important not only for agricultural production and other fields of human activity, but they are also a good means for climate change research. Both types of observations have a long history and they have significantly changed in recent years. The agrometeorological observations provide a link to the biological aspects. The phenological observations are also obtained through special cameras designed for phenological monitoring in addition to subjective monitoring of phenological phases by voluntary observers according to the defined methodology.

Key words: climate, observation, agrometeorology, phenology

Souhrn

Agrometeorologická a fenologická pozorování mají velký význam nejen pro zemědělskou výrobu a další obory lidské činnosti, ale jsou rovněž vhodným prostředkem pro výzkum klimatické změny. Oba typy pozorování mají dlouhou historii a v posledních letech se výrazně změnily. Systém agrometeorologických pozorování zajišťuje vazbu na biologické aspekty. Systém fenologických pozorování kromě subjektivního sledování fenologických fází dobrovolnými pozorovateli podle stanovené metodiky získává prostřednictvím speciálních kamer určených pro fenologický monitoring.

Klíčová slova: klima, pozorování, agrometeorologie, fenologie

ÚVOD

Střídání ročních dob a mimořádné povětrnostní jevy od pradávna budily zájem lidí, kteří od počátku kulturních dějin hodnotili jejich blahodárné, nebo škodlivé působení [8]. Podrobnějším sledováním předlouhé historie meteorologie lze rozlišit tři nesporně dlouhá, avšak kvalitativně velmi odlišná období. Jsou zpravidla určována všeobecným rozvojem úrovně poznání v přírodních vědách, zvláště matematiky, fyziky a astronomie. Prvním významným předělem se přirozeně stalo období související s vynalezením základních meteorologických přístrojů umožňujících získávání objektivních informací pomocí přímého měření jednotlivých meteorologických prvků. Přístrojovou epochou začalo podstatně hlubší poznání zákonitostí a souvislostí přírodních jevů a počasí nejprve na trvale osídlené pevnině a později i na nepřístupných místech velehor, oceánů a polárních oblastí. Nebývalý rozvoj meteorologických měření během 19. a 20. století umožnil vytvoření archivů s velkými soubory dat za delší časová období a z většího množství lokalit s nesrovnatelně vyšší kvalitou

a detailnější vypovídající schopností. Významnou úlohu sehrála standardizace a unifikace měřících metod a jednotná kalibrace přístrojů podmíněná nezištnou mezinárodní spoluprací a rozsáhlou výměnou dat. Vytvořením celosvětové sítě stanic a jejich dlouhodobým provozem (včetně postupného využívání i dalších zdrojů meteorologických informací) byl položen základ pro vznik centralizovaných archivů kvalitních a jednotně zpracovaných a prověřených dat nejprve u národních meteorologických služeb, později i regionálních center a nakonec v celosvětově spravovaných databankách a globalizovaných sítích. Tím byl splněn nezbytný předpoklad pro vznik a všestranný rozvoj moderní klimatologie a klimatografie.

Bouřlivý rozvoj telekomunikací a techniky umožňující sledovat stav zemské atmosféry z kosmického prostoru ve druhé polovině 20. století, spolu s rozvojem výpočetní techniky zajišťující hromadný přenos a zpracování dat a možností získávání informací prostřednictvím satelitních systémů, vyústil v novou revoluční změnu – postupnou globalizaci meteorologie a klimatologie. Významnou roli sehrál i vznik Světové meteorologické organizace (která nahradila IMO, založenou 1873) a jejích programů a s tím související mezinárodní spolupráce. Se získáváním nových poznatků došlo také ke specializaci a tím i vytvoření celé řady aplikovaných meteorologických disciplín /7/.

AGROMETEOROLOGICKÁ POZOROVÁNÍ

Zcela specifické požadavky na moderní služby má zemědělská meteorologie. Z historického pohledu je třeba připomenout, že se dlouho vyvíjela v rovnováze s přírodními podmínkami, kdy se využívaly jen přirozené a obnovitelné zdroje surovin a energie, bez tzv. xenobiontů (přírodě cizorodých látek /7/). V současné době se zemědělská meteorologie zabývá vztahem vody, tepla, ovzduší a biomasy (pod i nad povrchem půdy) a jejich vlivu na zemědělskou produkci a to včetně vlivů chorob a škůdců. Při tom termín zemědělská produkce je velmi volný a zahrnuje kromě plodin, také lesní porosty, ostatní dřeviny, chov hospodářských zvířat a rybářství.

Co se týká vody, představují ji především atmosférické srážky; pod pojmem “teplo” rozumíme záření (a to včetně dlouhovlnné radiace jako nedílného celku celkové radiční bilance) a jeho distribuci. Předmětem zájmu působení těchto dvou složek jsou především negativní důsledky, jako jsou eroze, záplavy a šíření nemocí při postřiku a závlahách kontaminovanou vodou, vysoké teploty a sucha. Pojem ovzduší zahrnuje a atmosféru (resp. troposféru) a cirkulaci, ke které zde dochází.

První mezinárodní spolupráci lze datovat rokem 1913, kdy vznikla při IMO komise pro zemědělskou meteorologii (CAGM). První zasedání mělo proběhnout v roce 1919, ale bylo odloženo kvůli první světové válce a uskutečnilo se až v roce 1923. Poté následovalo 7 zasedání, poslední pak proběhlo v Torontu 1947. Nová komise se zformovala v souvislosti se založením WMO (23. 3. 1950), specializované agentury při OSN. První zasedání CAGM proběhlo v Paříži v roce 1953. Prvních 40 let se agrometeorologie vyvíjela jako vědecká disciplína založená na kvantifikaci fyzikálních a biologických aspektů produkce /2/.

Komise zasedá každé 4 roky, poslední proběhlo letos v dubnu v Turecku (Antalya). Jako jedna z 8 technických komisí WMO CAGM poskytuje odborné zázemí pro oblast zemědělské meteorologie, navrhuje mezinárodní standardy pro metody a postupy; zajišťuje diskuzi při řešení vědeckých a technických problémů, podporuje přenos nových poznatků mezi členy WMO a spolupracuje zejména ve vědeckých a technických záležitostech s ostatními mezinárodními organizacemi (např. FAO). Mezi její priority patří: rozvoj agrometeorologických měření, standardizace metod, spolupráce s dalšími komisemi, předpověď počasí pro zemědělství, problematika fenologie a hodnocení vlivu počasí a podnebí na půdy a vegetaci.

Na 6. zasedání v r. 1974 vznikl Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP, WMO-No. 134) /3/. Tato metodika byla i novovydána v roce 2012, je rozdělena do 17 kapitol. V roce 1999, během 12. komise pro zemědělskou meteorologii (CAGM) v Ghaně

(Accra), prezident komise C.J. Stigter navrhl, aby se tento návod kompletně předělal. Byl vybrán tým a na 13. zasedání komise v roce 2002 v Ljubljani byl předložen první koncept a na základě toho konceptu byl ustanoven tým na přípravu cílem poskytnout uživatelům nejdůležitější metody používané v zemědělské meteorologii. Součástí dnešní metodiky je i seznam časopisů, kde je možné publikovat agrometeorologické výsledky.

Na základě této metodiky agrometeorologické stanice měří a pozorují: sluneční záření (globální sluneční záření, fotosynteticky aktivní záření (PAR) a všechny vlnové délky záření), trvání slunečního svitu, oblačnost, teplotu vzduchu a půdy, tlak vzduchu, rychlost a směr větru, vlhkost vzduchu a půdy, výpar, atmosférické srážky včetně sledování výskytu krup, rosy a mlhy /3/.

Pro zpracování dat se používá databáze CLICOM a GIS. Výstupy zahrnují tyto oblasti:

1. Teplota vzduchu: pravděpodobnost překročení určité hodnoty, chilling units, degreese-days, počet hodin či dní nad (pod) určitou hranici, meziroční variabilita, maximální a minimální teplota vzduchu, charakteristiky vegetačního období, statistické hodnocení teplotních charakteristik.
2. Atmosférické srážky: pravděpodobnost výskytu definovaného úhrnu v daném období, počet dní s definovaným úhrnem srážek, pravděpodobnost přivalových srážek, trvání a množství sněhové pokrývky, datum prvního a posledního dne výskytu se sněhovou pokrývkou.
3. Vítr: četnosti směru větru, maximální a průměrná rychlost větru, meziroční variabilita, hodiny s rychlostí větru pod a nad určitou hranici
4. Oblačnost, sluneční svit, záření: astronomicky možný sluneční svit, počet jasných a zamračených dní, suma záření.
5. Teplota půdy: průměrná a směrodatná odchylka ve standardní hloubce, hloubka promrznutí, pravděpodobnost výskytu určité teploty v dané hloubce, datum překročení určité teplotní hranice (klíčení, vegetační období).
6. Nebezpečné atmosférické jevy: mraz, studené a horké vlny, kroupy, sucho, cyklony, povodně, zamokření, nedostatek slunečního svitu.
7. Speciální agrometeorologická pozorování: vlhkost půdy v určitých hloubkách, sledování výšky rostlin, stav poplavy, fenologické pozorování, index listové plochy, nadzemní biomasa, teplota rostlin a listů, délka kořenů.
8. Významnou roli hraje i délka období: týden, 10 dní, velké a hlavní vegetační období, období kritických fenologických fází, období ošetřování apod.
9. Výstupy: tabulky, kontingenční tabulky, grafy, mapy, agrometeorologický zpravodaj /2/.

V roce 2001 byla založena internetová Mezinárodní společnost pro zemědělskou meteorologii (INSAM International Society for Agricultural Meteorology) s cílem podporovat vědu a aplikace ze zemědělské meteorologie tím, že slouží jako zdroj informací komukoliv na světě (<http://www.agrometeorology.org/>).

FENOLOGICKÁ POZOROVÁNÍ

Pozorování sezónních projevů rostlin a živočichů v široké souvislosti s počasím a podnebím má své široké uplatnění. Fenologické údaje jsou důležité při poznávání a zkoumání agroklimatických podmínek území. Jimi se zachycuje časový chod vývoje rostlinstva v průběhu vegetačního období. Fenologické fáze jsou jednou s tránkou agroklimatického komplexu, vyjadřují biologické hranice, v rámci kterých se zkoumají požadavky rostlin na podmínky vnějšího prostředí /9/, mají značný význam i v modelování a v prognózách výnosů, plánování technologických opatření, signalizace chorob a škůdců apod. Moderní fenologie studuje časování opakujících se biologických událostí v živočišné a rostlinné říši a důvody jejich časování s ohledem na biotické a abiotické faktory /6/.

První fenologická pozorování provozovaly velké civilizace jako Egypt, Mezopotámie, a Čína, již tisíce let před naším letopočtem. Nejstarší dochované záznamy fenologických

pozorování rostlin a zvířat pochází z Číny, stejně jako nejstarší dochovaný fenologický kalendář /10/. Termíny charakterizující fenologické fáze: rašení, kvetení a opad listů se v evropské literatuře objevily ve 12. století /4/. Vědecký základ fenologickým pozorováním položil zejména Carl von Linné.

O aktuálním významu fenologie v současnosti svědčí např. systém fenologických pozorování v USA (National Phenology Monitoring System), jež cílem je získat jak dobrovolníky, tak i profesionální vědce, aby se zapojili do fenologického pozorování a přispívali tak do národní databáze. Data z této databáze jsou dále využívána pro časové a prostorové analýzy nástupu fenologických fází a při výzkumu klimatické změny. Byl vytvořen nový přístup k tzv. všeobecnému monitoringu rostlin a zvířat, zúčastnit se jej může každý pomocí tzv. Zapisníku přírody (Nature's notebook), který je umístěn na adrese (<https://www.usanpn.org/home>). Obsahuje předepsaný seznam druhů a fenofází a formuláře pro záznamy. Jeho značným přínosem je nový přístup k vytvoření databáze. Pozorovatelem může být kdokoliv, bez ohledu na věk a vzdělání. Návod je uveden na internetových stránkách a umožňuje průběžné pozorování během celého roku, vyplnění předepsaného formuláře (kalendáře) je velmi jednoduché: pouze ano-ne. Údaje mohou být využitelné v této hrubé podobě pro mnoho analýz a jsou důležité pro porovnání s historickými záznamy. Každého čtvrt roku je vydáván zpravodaj (poslední jaro 2014). Tento systém je velmi úspěšný. V roce 2011 bylo celkem 48 131 "dobrovolných pozorovatelů" a bylo pozorováno 243 rostlinných druhů a 72 živočišných druhů.

Podobný kalendář přírody Naturens kalender (www.naturenskalender.se) využívají ve Švédsku. V Sasku byl prostřednictvím DWD (Deutscher Wetter Dienst) zahájen pilotní projekt na fenologická pozorování ve školách a data jsou průběžně dodávána do mezinárodní fenologické databáze PEP 725 (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/30686.htm).

Výsledky práce Českého hydrometeorologického ústavu v oblasti fenologických pozorování dokumentuje Atlas fenologických poměrů Česka /5/ vydaný v roce 2012.

MEZINÁRODNÍ SPOLUPRÁCE

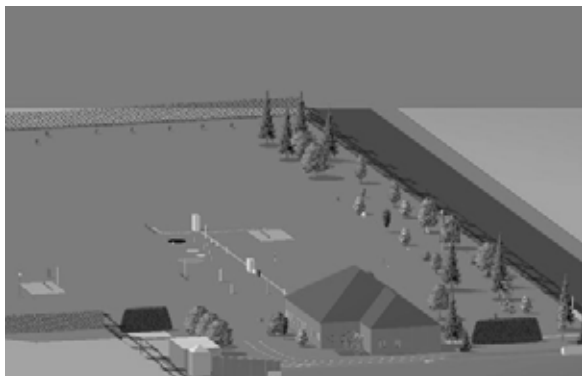
V rámci mezinárodní spolupráce existuje v současnosti Mezinárodní evropská fenologická databáze (The Pan European Phenological Database) – PEP 725 (www.pep725.eu). Tento projekt vznikl ve Vídni v návaznosti na mezinárodní spolupráci COST 725 a je podporován rakouskou meteorologickou službou (ZAMG) a EUMETNET. V současné době se jej účastní 17 evropských meteorologických služeb a 5 partnerů z různých fenologických služeb. Po celé Evropě je rozmístěno 19 000 pozorovacích míst, většina z nich je ve Velké Británii a ve střední Evropě, zejména v Německu. Velká část hlášení je fenologických fázích polních plodin: ječmen jarní – *Hordeum vulgare* 8 %, lilek brambor – *Solanum tuberosum* 6 %, pšenice ozimá – *Triticum aestivum* 5 %, dále je velmi častý kaštan koňský – *Aesculus hippocastanum* 7 %, dub letní – *Quercus robur* 7 %. Ročně je uloženo 8,6 milionu záznamů (včetně dat ČHMÚ) a po registraci je možné používat data pro vědecký výzkum. Začíná probíhat vizualizace dat – prvotní výsledky jsou průběžně uváděny na www.eyearth.org – zde jsou prezentovány mapy počátku kvetení dekád 1991–2000 a 2001–2010 ve srovnání s normálem 1961–1990.

Mezinárodní fenologická zahrádka – IPG (International Phenology Garden)

Idea vybudovat síť IPG vznikla v roce 1957 v Německu, první stanice byla založena v roce 1959 v Offenbachu. Cílem projektu IPG v současnosti je studium předpokládaných dopadů změny klimatu na lesní rostliny. Řízením a koordinací sítě je od roku 1996 Humboldtova univerzita v Berlíně.

Prvním úkolem IPG bylo standardizovat podmínky pro pozorování – provádět pozorování na klonovaných rostlinách pocházejících z jedné školky podle jednotné metodiky pro eliminaci dědičné variability stromů a keřů. Celkem je pozorováno 8 fenologických fází

(začátek olistění, rašení, janské výhony, začátek kvetení, plné kvetení, první zralé plody, žloutnutí a opad listů) na 19 dřevinách (*Larix decidua*, *Picea abies* (raná, pozdní, severská), *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Prunus avium*, *Quercus petraea*, *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*, *Ribes alpinum*, *Salix aurita*, *Salix mitchiana*, *Salix viminalis*, *Sambucus nigra*, *Corylus avellana*, *Forsythia vespertina*, *Syringa vulgaris*). V České republice fungují v současnosti tři mezinárodní fenologické zahrádky – Doksany (IPG 85 – obr. 1), Kostelec nad Černými lesy (IPG 86) a Křtiny u Brna (IPG 87).



Obr. 1 Schéma fenologické zahrádky (IPG 85 agrometeorologická observatoř Doksany)

Vzhledem k časové náročnosti fenologických pozorování (zejména lesních rostlin) je snaha zavést automatizovaný monitoring. V roce 2006 byl na observatoři v Doksanech (IPG 85) zahájen pilotní projekt celoročního snímání fenologických fází digitální kamerou. Kamera pracuje v automatickém modu 1 hodiny od 05:00 do 19:00 h SEČ.

ZÁVĚR

Zemědělství je ze všech lidských aktivit pravděpodobně nejvíce závislé na počasí. Po celou historii lidstva extrémní teploty, sucha, záplavy a další formy nepříznivého počasí vykonávaly své dílo na zemědělských systémech, které jsou zdrojem potravin pro člověka a zvířata.

Agrometeorologie pokročila během posledních 100 let od popisného ke kvantitativnímu vědeckému používání fyzických a biologických principů /1/. Zemědělské společnosti se stále více uvědomují, že použití klimatických a povětrnostních informací zlepšuje jeho rentabilitu, a to bude nesporně zvyšovat požadavky na agrometeorologické služby. Produkce potravin nakonec vždy závisí na schopnosti, se kterou mohou farmáři využívat potenciál „dobrého počasí“ a minimalizovat dopad „špatného počasí“. Analýzy a prognózy počasí, které ovlivňují růst a vývoj zemědělských plodin, jsou podkladem pro hospodářská rozhodnutí, jako je např. plánování závlah, obchod s komoditami, využívání výstražných systémů varujících např. před požárem, povodní silným větrem, přivalovými srážkami a v neposlední řadě zajišťování zachování ekosystémů.

LITERATURA

- /1/ Anonymus: Guidelines for the Education and Training of Personnel in Meteorology and Operational Hydrology. Volume I, supplement No. 2: Guidelines for Curricula in Agricultural Meteorology. WMO-No. 258. Geneva, 2009: 53.
- /2/ Anonymus: The First Fifty Years. WMO-No. 999. Ženeva, 2006: 44. ISBN: 92-63-10999-0.
- /3/ Anonymus: The Guide to Agrometeorological Practices. WMO-No. 134. Geneva, 2010: 122. ISBN 978-92-63-10134-1.

- /4/ Demarée, G.R., Rutishauser, T.: From “Periodical Observations” to “Anthochronology” and “Phenology” – the scientific debate between Adolphe Quetelet and Charles Morren on the origin of the word “Phenology”. *International Journal of Biometeorology*. 55 (6), 2011: 1–9.
- /5/ Hájková L., Voženílek, V., Tolasz, R.: Atlas fenologických poměrů Česka. Olomouc. 2012: 322 s. ISBN: 978-80-86690-98-8.
- /6/ Koch, E., Chmielewski, F.M., Bruns, E., Defila, C., Lipa, W., Menzel, A.: Guidelines for plant phenological observations. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Austria, Deutscher Wetterdienst, Germany, HU Berlin, Germany, 2007: 39.
- /7/ Kožnarová V., Klabzuba J.: Historie a současnost, čas a kalendáře. Aplikovaná meteorologie a klimatologie I. díl. ČZU v Praze, Praha, 2004: 40. ISBN: 978-80-213-1280-7.
- /8/ Krška, K., Šamaj, F. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Karolinum, Praha. 2001: 564. ISBN: 80-7184-951-0.
- /9/ Kurpelová, M., Coufal, L., Čulík, J.: Agroklimatické podmínky ČSSR. HMÚ, Bratislava, 1975: 267.
- /10/ Puppi, G.: Origin and development of phenology as a science. *Italian Journal of Agrometeorology*, (3), 2007: 24–29.

Poděkování

Tato práce vznikla s institucionální podporou Programu pro dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné instituce poskytované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

PŮSOBENÍ OXIDAČNÍHO STRESU NA SMRKU ZTEPILÉM

EFFECTS OF OXIDATIVE STRESS ON NORWAY SPRUCE

Václav Krpeš, Karel Michna

Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, katedra biologie a ekologie, Chittussiho 10,
710 00 Slezská Ostrava, Česká republika, krpes@osu.cz

Summary

The paper deals with the effects of radicals on the needles of Norway spruce *Picea abies* at higher altitudes of Central Highlands. High concentrations of ozone negatively impact on the growth and production of spruce. By microscopic observations were detected physiological changes in the plant tissue of needle after oxidative stress.

Key words: Norway spruce, Picea abies, Ozone, Reactive Oxygen Species, Oxidative stress, Deposition stomatal flux of ozone

Souhrn

Práce se zabývá působením radikálů na jehlice smrku ztepilého *Picea abies* ve vyšších polohách středohoří. Vysoké koncentrace ozonu se negativně projevují na růst a produkci smrků. Mikroskopickým pozorováním byly po působení ozonu zjištěny fyziologické změny v rostlinných pletivech jehlic.

Klíčová slova: smrk ztepilý, Picea abies, Ozon, Reaktivní formy kyslíku, Oxidační stres, Depoziční stomatalní tok ozonu

ÚVOD

Jedna z hlavních příčin oxidačního poškození smrkových porostů ve vysokých polohách středohoří je vyvolána zvýšenou koncentrací volných radikálů a jiných škodlivých látek, vyskytujících se v důsledku znečištění ovzduší v atmosféře (NO_2 , SO_2 , O_3) a tab. 1. K nejvýznamnějším škodlivinám, které způsobují nežádoucí oxidační stres, patří kyslíkaté radikály. Tyto radikály jsou iniciovány fotochemickými reakcemi probíhajícími v důsledku velkého množství slunečního záření. Sluneční radiace vyvolává ve vysokých dávkách fotooxidaci fotosyntetických pigmentů, zvláště důležitého chlorofylu *a*.

Oxidační stres je stresový faktor, který zpomaluje životní funkce rostlin, působí ničivě na jejich buňky, pletiva a celé orgány, což může vést k jejich uhynutí. Stresem vyvolané fotooxidační poškození rostlin je způsobeno vzniklou nerovnováhou mezi produkcí aktivních forem kyslíku a jejich odbouráváním /1/. Oxidační stres tedy lze popsat jako jev regulovaný poměrem oxidační a antioxidační aktivity, která ovlivňuje fyziologické procesy rostliny /2/. Každá porucha rovnováhy mezi systémem produkujícím a odstraňujícím superoxid a další reaktivní produkty má vždy patofyziologické důsledky.

Aktivní forma kyslíku má klíčovou roli v hypersenzitivní reakci (HR), která je charakteristická rychlou indukcí buněčné smrti v místě účinku oxidačního činidla /3/. Buněčná smrt vyvolaná HR by mohla být považována za programovanou buněčnou smrt /4, 5, 6/. Vliv oxidačního činidla na apoptózu ukazují také studie na buněčných kulturách *Arabidopsis thaliana*, sóji a tabáku BY-2 /7, 8, 9, 10/. Aktivní formy kyslíku inhibují v nižších koncentracích fixaci CO_2 , inaktivují enzymy Calvinova cyklu a oxidují flavonoidy. Na obranu proti peroxidu vodíku obsahuje stroma chloroplastů antioxidant kyselinu L-askorbovou, redukovaný glutathion a cyklus katalázy v peroxizomech /11/. Proti škodlivému

působení radikálů se ve fotosyntetickém aparátu vyvinuly důležité antioxidační mechanismy, které umožňují přežití mezofylových buněk a jejich adaptaci na změněné životní podmínky. Součástí těchto mechanismů jsou specifické enzymy, především superoxidodismutáza (SOD), kataláza a nízkomolekulární lapače (scavengers) a zhasiče (quenchers) volných radikálů - alfa-tokoferol, karotenoidy, kyselina L-askorbová, melatonin, histidin a jiné antioxidy. Jejich zapojení do obranných procesů se děje přirozenou biosyntézou těchto látek /11/. Tab. 2.

Tab. 1: Rozdělení aktivních forem kyslíku a dusíku

Reaktivní formy kyslíku				Reaktivní formy dusíku			
Volné radikály		Látky neradikálové povahy		Volné radikály		Látky neradikálové povahy	
Superoxidový radikál	$O_2^{\cdot-}$	Peroxid vodíku	H_2O_2	Oxid dusnatý	NO^{\cdot}	Peroxyinitrit	$ONOO^-$
Hydroxylový radikál	HO^{\cdot}	Kyselina chlorná	$HOCl$	Oxid dusičitý	NO_2^{\cdot}	Dusitany	NO_2^-
Alkoxylový radikál	RO^{\cdot}	Ozon	O_3			Dusičnany	NO_3^-
Peroxylový radikál	ROO^{\cdot}	Singletový kyslík	1O_2			Nitrosyl	NO^+

Tab. 2: Biologické působení aktivních forem kyslíku v chloroplastu a zapojování antioxidantů

Aktivní forma kyslíku	Subcelulární lokalizace antioxidantů v chloroplastu		Biologické působení aktivních forem kyslíku
	Stroma	Thylakoid	
$O_2^{\cdot-}$	Cu, Zn-SOD Kyselina L-askorbová	Cu, Zn-SOD Mn-SOD Fe-SOD	Inaktivace enzymů, depolymerace, Reakce s H_2O_2
1O_2	Kyselina L-askorbová	Beta karoten	Inhibice fotosyntézy, preferenční oxygenázové aktivity Rubisca
OH^{\cdot} , HO_2^{\cdot}	Kyselina L-askorbová	Alfa tokoferol	Poškození DNA, RNA, peroxidace lipidů
H_2O_2	Kyselina L-askorbová, redukovaný glutation, cyklus katalázy v peroxizomech		Inhibice fixace CO_2 , inaktivace enzymů Calvinova cyklu, oxidace flavonoidů

K hlavním činitelům, způsobujícím oxidační stres, patří nestálý a charakteristicky páchnoucí plynný trojatomový molekula kyslíku, ozon (O_3), který vzniká působením ultrafialových paprsků. Vysoké dávky ultrafialového záření vyvolávají za jasných slunečních dnů ve vyšších polohách středohoří jeho nežádoucí zvýšené koncentrace, které negativně ovlivňují fyziologické procesy uvnitř rostlin. O škodlivém působení ozonu na lesní porosty bylo vytvořeno několik hypotéz, které se jejich autoři snažili ověřit pokusy v klimatizačních komorách i pozorováním ve volné přírodě. Podle těchto hypotéz mohou vysoké koncentrace ozonu a dalších fotooxidantů poškodit buněčné membrány a učinit je propustnější pro kationty /12/. Zjištěné škody na membránách uvádějí /13/. Poškození je vyvoláno také urychleným vymýváním hořčíku (Mg) a vápníku (Ca) v důsledku synergického působení ozonu a kyselých srážek, což zjistili /14/. /16/ zjistil totéž pozorováním ve volné přírodě /17, 18/.

Všechny tyto škodlivé jevy jsou uváděny do souvislosti s vysokými koncentracemi ozonu ve vrcholových částech středohoří, kde dochází v důsledku intenzivního záření k urychlené fotooxidaci chlorofylu, relativně vysokému přínosu dusíku z atmosféry a následnému zeslabování mrazuvzdornosti smrků /14, 15, 19, 20/. Specifické, ozonem působené degenerativní změny povrchu jehlic, poškození epikutikulárních vosků a škody na stomatech, pozorovali rovněž /21/, kteří zjistili, že k těmto změnám dochází nezávisle na

stavu výživy a současně se zvyšuje také obsah kyseliny L-askorbové. Podle /22/ je snížení obsahu chlorofylů *a*, *b* po působení ozonu výraznější u starších jehlic než u mladších.

Ozon je jako látka neradikálové povahy řazen k důležitým zdrojům nebezpečných reaktivních kyslíkatých látek (ROS). Vstupuje do listů průduchy a kontaktem s vlhkými buněčnými stěnami se v intercelulárách velmi rychle rozkládá. Průnik nerozloženého ozonu přes plazmatickou membránu probíhá velice obtížně a pomalu. Při jeho rozkladu vzniká za přítomnosti vody nejen molekulový kyslík, ale jako meziproducty i reaktivní superoxid, peroxid vodíku a hydroxylový radikál. Tyto sloučeniny způsobují v první řadě nekatalyzovanou oxidaci složek buněčné stěny a oxidaci složek plazmatické membrány – lipidů a proteinů /23/. Při působení ozonu dochází rovněž velmi rychle ke zvýšené tvorbě etylénu (rostlinného hormonu), což urychluje poškození a předčasné stárnutí buněk. Při zablokování tvorby etylénu je poškození menší. K zesílení negativního působení ozonu může pravděpodobně přispívat také reakce uvolněného etylénu s ozonem v buněčné stěně, která je provázána vznikem superoxidu a reaktivních aldehydů. Odumírání buněk pod vlivem vyšších dávek ozonu nemusí být způsobováno pouze „programovanou“ hypersenzitivní reakcí, ale i neregulovaným způsobem po vážném narušení integrity plazmatické membrány peroxidací lipidů (Gloser 1998). Kyslíkové reaktivní produkty vyštěpují reaktivní vodíkové a tomy z nukleových kyselin, čímž zapříčiňují porušení vlákna DNA, iniciují lipoperoxidaci a porušení biologických membrán. Kyslíkové radikály se mohou rovněž podílet i na jiných důležitých fyziologických a patofyziologických jevech /24/.

Mimořádně důležitým místem tvorby reaktivních produktů kyslíku jsou chloroplasty /25/. Pro tvorbu superoxidového aniontu existuje více cest. Přímý důkaz produkce O_2^- je dán prostřednictvím oxigenázové aktivity multienzymového komplexu RUBISCO /26/. Oxigenázová reakce je spojena s transportem elektronů ke kyslíku, s autooxidací flavinů a s uvolněním superoxidového aniontu dovnitř chloroplastu. Fotosyntetická redukce kyslíku je důležitou fyziologickou přeměnou v neporušených chloroplastech v vyšších rostlin za tvorby H_2O_2 a dalších produktů Fentonové reakce (Fe^{2+} a $\cdot OH$) /11/.

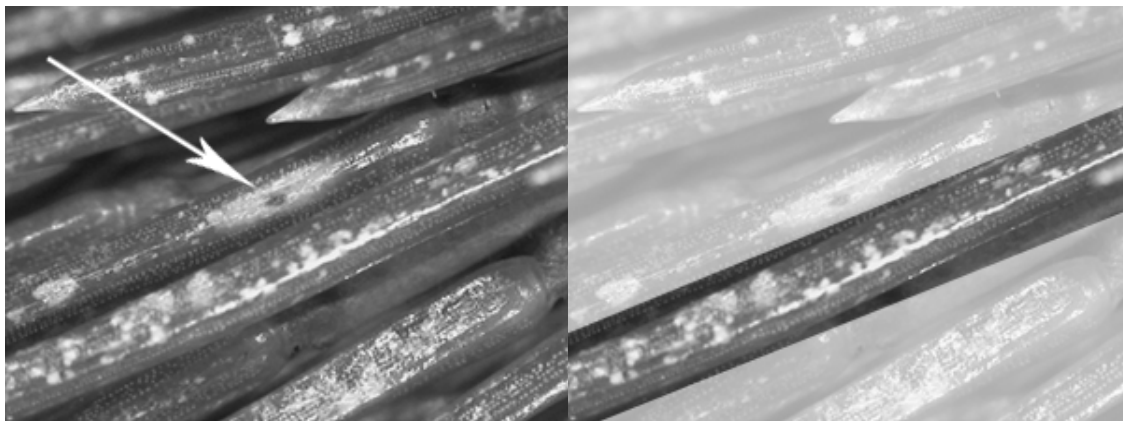
Významnou úlohu při tvorbě singletového kyslíku 1O_2 mají fotodynamické oxidace fotosyntetických pigmentů, které lze zjednodušeně vyjádřit energetickými stavy S_0 pigment + foton \rightarrow S_1 pigment; S_1 pigment \rightarrow T_1 pigment + $O_2 \rightarrow$ S_0 pigment + 1O_2 .

S_0 představuje základní stav a S_1 první singletový excitovaný stav pigmentu, T_1 je tripletový excitovaný stav pigmentu.

Biologická důležitost singletového kyslíku 1O_2 , se vztahuje především na jeho chemickou reaktivitu. Singletový kyslík je velmi elektrofilní. Jeho potenciál roste v důsledku prázdného protivazebného orbitálu. Vzniklý superoxidový anionový radikál je zodpovědný za toxicitu kyslíku. Jeho tvorba včetně dalších produktů kyslíku v biologických systémech ohrožuje integritu buněk a celého organismu. Superoxiddismutáza a další antioxidační mechanismy mají zásadní význam pro ochranu a život rostlin. Hydroxylový radikál patří mezi nejreaktivnější látky, které porušují většinu molekul v buňkách. Hydroxylují purinové a pyrimidinové základy a dokonce reagují s molekulami sacharidů v DNA při vzniku různých DNA radikálů.

ZOBRAZENÍ PATOLOGICKÝCH JEVŮ NA JEHLICÍCH

Po působení ozonu je na jehlicích patrná diskolorace, zejména v apikálních částech jehlic. Vyskytuje se zonální depigmentace a žloutnutí. Nejčastěji jsou viditelné bezbarvé až žlutavé bodové chlorózy na víceletých jehlicích, bývají plošně větší a působí dojmem odbarvení jehlic. Tyto viditelné znaky jsou pro poškození oxidačním stresem charakteristické. Zvýšený výskyt depigmentace je zvláště pozorován v těch částech korun, které jsou vystaveny větší intenzitě slunečního záření. Za bezprostřední příčinu těchto jevů jsou především považovány epizodně zvýšené koncentrace přízemního ozonu v suchých obdobích roku a následné působení endofytických hub.

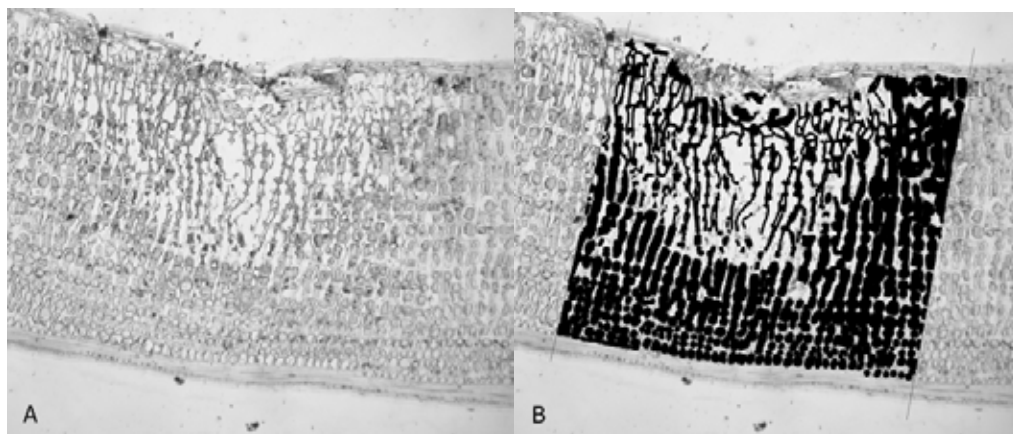


Obr. 1: Rozlišení okrouhlých bodových chloróz projevující se především u starších ročníků jehlic s narušením krycích a mezofylových pletiv po synergickém působení ozonu a silné insolaci. Část označená šipkou není poškozená ozonem.

Škodlivé působení ozonu na smrkové porosty v Moravskoslezských Beskydech bylo sledováno na lokalitě Bílý Kříž (943 m n. m.). Výzkum se opíral o porovnávání gradientové metody s multiplikativním depozičním modelem v výskytu ozonu. V jeho rámci byly dlouhodobě měřeny následující parametry: modelovaná depoziční rychlost ozonu, depoziční tok ozonu, model stomatální vodivosti ozonu a model stomatálního toku ozonu, včetně odhadů stomatálního a nestomatálního příjmu ozonu v jehlicích. Bylo prokázáno, že depoziční toky ozonu byly vyšší v průběhu denních hodin, což bylo způsobeno vyšší turbulencí vzduchu a vyšším stupněm stomatálního příjmu ozonu v průběhu dne. Koncentrace ozonu a depoziční tok ozonu nemají stejný průměrný denní chod. Depoziční tok ozonu a depoziční rychlost ozonu dosahují maximálních hodnot kolem poledne, zatímco koncentrace ozonu dosahují maxima v odpoledních hodinách. Důvodem těchto rozdílů jsou rozdílné procesy, které ovlivňují variabilitu koncentrace ozonu a depozičního toku ozonu. Měřená depoziční rychlost měla větší variabilitu než modelovaná depoziční rychlost. Průměrný stomatální příjem ozonu činil přibližně 41 % celkového depozičního toku ozonu. Celkový příjem ozonu v zapojeném porostu s mrkou je vyšší v průběhu denních hodin. Stomatální příjem v noci je minimální. Průměrná depoziční rychlost naměřená gradientovou metodou byla 0.39 cm s^{-1} , průměrná depoziční rychlost modelovaná depozičním modelem byla 0.36 cm s^{-1} /27/.

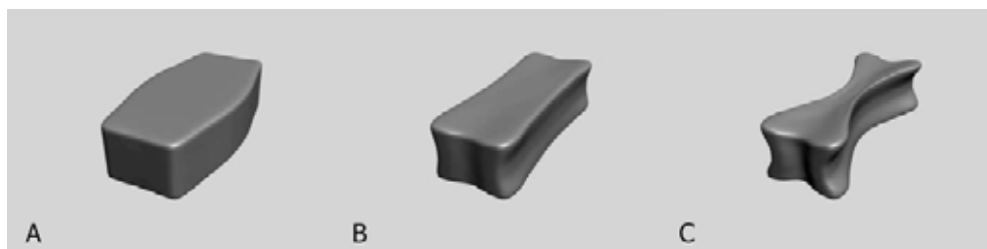
Mikroskopickým pozorováním byly po působení ozonu zjištěny fyziologické změny v rostlinných pletivech jehlic. Jedná se o úbytek plochy a objemu mezofylových buněk projevujících se deformací protoplastu s následným smrštěním buněčné stěny. Ve vegetačním období byla zjištěna narůstající plocha intercelulárních prostor v závislosti na zvyšující se hodnotě stomatálního toku ozonu (korelační koeficient 0,72 na hladině významnosti 5%). Jev byl kvantitativně definován poměrem plochy intercelulár k celkové ploše mezofylového pletiva (index IM).

Hladina fotosyntetických pigmentů s ochrannou antioxidační funkcí (β -karoten a lutein) byla určena metodou spektrofotometrie. Byly naměřeny koncentrace β -karotenu, v rozpětí od 0.0242 do 0.1357 mg g^{-1} s. h., a koncentrace luteinu, v rozpětí od 0.2153 do 0.504 mg g^{-1} s. h., které korelovaly se stomatálním tokem ozonu měřených v rozpětí od 3,55 do 8 $\text{nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Korelační koeficient β -karotenu měl hodnotu 0,48 na hladině významnosti 5%, luteinu 0,52 na hladině významnosti 5%.



Obr. 2: Anatomický podélný řez bazální částí jehlice smrku ztepilého po oxidačním působení ozonu v pokročilé fázi poškození s projevem deformace mezofylových buněk prostupující hluboko k vodivým pletivům (A) s vyznačením měřené zóny se standardní délkou 1000 μm (plocha intercelulár je ve vymezeném poli 329 623 μm^2 , IM 0,36) (B). Barvení Gömöri trichrom. Zvětšení 32 \times .

Zajímavý je pohyb hladin konců luteinu, jehož hodnoty zaznamenávají úbytek v červnovém termínu a zřetelný nárůst v listopadovém termínu. Luteinu stejně jako β -karotenu připisujeme obrannou funkci proti působení oxidativního stresu vyvolaného ozonem. V červnovém termínu kdy při koncentraci ozonu 43,1566 ppb a stomatálním toku ozonu 6,0345 $\text{nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, dochází při plnění ochranných funkcí luteinu k větší spotřebě luteinu a tím i k úbytku jeho koncentrace. V dolní části koruny, která byla méně vystavena sluneční radiaci, nebyl tento úbytek zaznamenán.



Obr. 3: A, B, C: Trojrozměrný model stadiálních fází mezofylové buňky v substomatálním prostoru po oxidačním stresu provázeném značným poklesem tlakového a osmotického potenciálu.

SHRNUTÍ POZNATKŮ

Na fotosyntetickou aktivitu a celkový metabolismus smrkových porostů působí komplex abiotických faktorů. Z toho ozon má značný vliv na poškození oxidačním stresem, zejména v substomatálním prostoru mezofylových pletiv jehlic. Toto zjištění je potvrzeno strukturální a nalýzou mezofylového pletiva. Nejvíce škodí epizodické (jednorázové) opakování vysokých koncentrací, které v nárazech dosahují na lokalitě Bílý Kříž vysokých hodnot a střídají se s hodnotami blízkými nule. Stomatální tok ozonu je rozhodující pro vniknutí ozonu stomaty do mezofylových pletiv jehlic a tím i pro stupeň jejich poškození.

Vysoké koncentrace ozonu se negativně projeví na růstu a produkci smrků v daném lesním vegetačním stupni. Poškození se projevilo vizuálně patrnou depigmentací na jehlicích (vybledlá světle žlutá skvrnitost), která je čtenější ve vrcholové části stromu, kde je ovlivnění ozonem intenzivnější. Sluneční radiace působí zejména na abaxiální straně jehlic. Mikroskopickým šetřením bylo zjištěno, že poškozené části pletiv mají zvětšený intercelulární prostor a u mezofylového pletiva dochází k objemovým změnám

parenchymatických buněk. V apikální části jehlic je projev deformací patrnější než ve středovém a bazálním segmentu. Je dokázáno, že jednorázové koncentrace stomatálního toku ozonu do pletiv jehlic smrku ztepilého na lokalitě Bílý Kříž mají inhibiční vliv na růst smrkových porostů.

LITERATURA

- /1/ Piterková, J., Tománková, K., Luhová, L., Petřivalský, M., Peč, P.: Oxidativní stres: lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické listy*, 99, 2005: 455–466.
- /2/ Arora, A., Sairam, R.K., Srivastava, G.C.: Oxidative stress and antioxidative systems in plants. *Current Science*, 82, 2002: 1227–1238.
- /3/ Dangl, J.L., Dietrich, R.A., Richberg, M.H.: Death don't have no mercy: cell death programs in plant-microbe interaction. *The Plant Cell*, 8, 1996: 1793–1807.
- /4/ Jabs, T., Dietrich, R., Dangl, J.L. Initiation of runaway cell death in an Arabidopsis mutant by extracellular superoxide. *Science*, 273, 1996: 1853–1856.
- /5/ Naton, B., Hahlbrock, K., Schmelzer, E.: Correlation of rapid cell death with the metabolic changes in fungus-infected, cultured parsley cells. *Plant Physiology*, 112, 1996: 433–444.
- /6/ Lamb, C., Dixon, R.A.: The oxidative burst in plant disease resistance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 1997: 251–275.
- /7/ Levine, A., Tenhaken, R., Dixon, R.A., Lamb, C.: H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. *Cell*, 79, 1994: 583–593.
- /8/ Desikan, R., Reynolds, A., Hancock, J.J., Neill, S.J.: Harpin and hydrogen peroxide both initiate programmed cell death but have differential effects on defence gene expression in Arabidopsis suspension cultures. *The Biochemical Journal*, 330, 1998: 115–120.
- /9/ Solomon, M., Brelvi, B., Delledone, M., Mennem, E., Levine, A.: The involvement of cysteine-proteases and protease inhibitor genes in the regulation of programmed cell death in plants. *The Plant Cell*, 11, 1999: 431–443.
- /10/ Houot, V., Etienne, P., Petitot, A.S., Barbier, S., Beil, J.P., Suty, L.: Hydrogen peroxide induces programmed cell death features in cultured tobacco BY-2 cells, in a dose-dependent manner. *Journal of Experimental Botany*, 52 (361), 2001: 1721–1730.
- /11/ Osswald, W.F., Elstner, E.F. Mechanismen der pathologischen Pigmentbleichung bei Pflanzen. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 99, 1986: 341–365.
- /12/ Prinz, B., Krause, H., Stratmann, H.: Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. *LIS Berichte*, 28. Essen, 1982.
- /13/ Beringer, H., Trolldenier, G.: Influence of Nutrition on the response to environmental stress. *Potash Institute, Bern*, 1978: 189–222.
- /14/ Krause, G.H.M., Jung, K.D., Prinz, B.: Untersuchungen zur Aufklärung immissionsbedingter Waldschäden. *Verein Deutscher Ingenieure - Berichte 500*, 1983: 257–266.
- /15/ Krause, G.H.M., Jung, K.D., Prinz, B.: Experimentelle Untersuchungen zur Aufklärung der neuartigen Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. *Verein Deutscher Ingenieure - Berichte 560*, 1985: 627–656.
- /16/ Mangle, K. 1985.: Forschungsbericht anl. Statusseminar "Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldbäume und Waldböden", Jülich, 2.–4.1985.
- /17/ Kreuzer, K.: Möglichkeiten zur Verbesserung des Wachstums der Fichte auf geeigneten Waldstandorten. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 25, 1970: 139–140.
- /18/ Rehfuess, K.E., Bosch, Ch.R.: Experimentelle Untersuchungen zur Erkrankung der Fichte (*Picea abies* [L.] KARST.) auf sauren Böden der Hochlagen: Arbeitshypothese und Versuchsplan. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 105, 1986: 201–206.
- /19/ Zech, W., Popp, E.: Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in Nordostbayern. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 102, 1983: 50–55.
- /20/ Zöttl, H.W., Mies, E.: Die Fichtenerkrankung in den Hochlagen des Südschwarzwalds. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 154, 1983: 110–114.
- /21/ Mangel, K., Ziegler, H.: 1986. Einfluß von Ozon und sauren Nebel auf die Struktur der stomatären Wachstumsformen in der Nadeln von *Picea abies* (L.) KARST. *Forstw. Cbl.* 105, 234–238.
- /22/ Havranek W.M., Pfeifhofer H., Grill D.: Pigmentgehalte und Gaswechsel von Tief- und Hochlagenfichten nach chronischer Ozonbelastung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 109, 1990: 200–209.
- /23/ Gloser, J.: *Fysiologie rostlin*. Masarykova univerzita, Brno, 1998.
- /24/ Bergendi L.: *Superoxid a jiné bioreaktivne formy kyslíka*. VEDA, Bratislava, 1988.
- /25/ Foyer, Ch., Hall, D.: Oxygen metabolism in the active chloroplast. *Trends in Biochemical Sciences*, 5 (7), 1980. 188–191.

- /26/ Bhagwat, A.S., Sane, PV: Evidence for involvement of superoxide anion in oxygenase reaction of ribulose-1,5-diphosphate carboxylase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 84, 1978: 865–873.
- /27/ Zapletal, M., Pretel, J., Chroust, P., Cudlín, P., Edwards-Jonášová, M., Urban, O., Pokorný, R., Czerný, R., Hůnová, I. The influence of climate change on stomatal ozone flux to a mountain Norway spruce forest. *Environmental Pollution*, 169, 2012: 267–273. ISSN 0269-7491.

ZNÍŽENIE NEPRIAZNIVÉHO VPLYVU ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH ŠKODLIVÝCH ČINITELŮV NA DREVINY VO VEREJNEJ ZELENÍ

REDUCTION OF ADVERSE IMPACT OF ABIOTIC AND BIOTIC HARMFUL AGENTS ON TREES AND SHRUBS IN URBAN GREENERY

Gabriela Juhásová, Marek Kobza, Dušan Juhás, Radovan Ostrovský
Ústav ekológie lesa SAV Zvolen, Pobočka biológie drevín Nitra, Akademická 2, 949 01 Nitra,
Slovenská republika, gabriela.juhasova@savzv.sk, marek.kobza@savzv.sk,
juhas.dusan@gmail.com, radovan.ostrovsky@savzv.sk

Summary

Impact of abiotic and biotic harmful agents was evaluated on different types of urban greenery in Bratislava (street planting), Pezinok (Castle park), and Modra (cemetery). Biotic factors represented by fungi reduce aesthetic value of woody plants and are causal agents of leaves, branches and stems damages. Negative anthropogenic activities (after planting care, neglected maintenance) have also adverse impact on woody plants within public greenery. These adverse factors can be reduced by early visual diagnosis completed with trees stability assessment using FAKOPP 3D acoustic tomography.

Key words: trees and shrubs, urban greenery, fungi, visual diagnosis, tree stability

Súhrn

Vplyv abiotických a biotických škodlivých činiteľov sa hodnotil v rôznych typoch funkčnej zelenej sítí v Bratislave (uličná výsadba), Pezinku (Zámocký park), Modre (cintorín). Z biotických škodlivých činiteľov estetickú hodnotu drevín znižujú huby, pôvodcovia poškodenia asimilačných orgánov, konárov, kmeňa a koreňov. Negatívny antropogénny vplyv – zanedbaná starostlivosť pri výsadbe drevín, povýsadbové ošetrenie, nedostatočná údržba predstavuje pre dreviny stres. Nepriaznivý vplyv týchto faktorov sa dá znížiť včasnou vizuálnou diagnostikou, ktorá sa doplní stanovením stability stromov zvukovým tomografom FAKOPP 3D.

Kľúčová slova: dreviny, verejná zeleň, huby, vizuálna diagnostika, stabilita

ÚVOD

Problematike hodnotenia zdravotného stavu drevín sa venujeme od roku 1985. Zistili sme, že dreviny sú poškodzované nielen biotickými škodlivými činiteľmi (hubami, baktériami, živočíšnymi škodcami), ale aj človekom. Znížiť ich nepriaznivé stresové účinky sa dajú tak, že vizuálnou diagnostikou sa stanovia príčiny poškodenia a následne sa vypracujú účinné ochranné opatrenia. Do roku 2010 sme používali vizuálnu diagnostiku /5,6,7/. V súčasnej dobe vizuálne hodnotenie doplníme stanovením stability stromov zvukovým tomografom FAKOPP 3D /3,4,8,11/.

Cieľom vizuálnej diagnostiky je stanoviť súčasný zdravotný stav stromov s ohľadom na reálne nebezpečenstvo vzniku úrazu. Vizuálnym hodnotením sa nedajú vždy stanoviť skryté dutiny, rozmery a tvar dutín, ktoré sú na kmeni a konároch. Z toho dôvodu je vhodné používať také prístroje, ktoré bez mechanického poškodenia dokážu dať pravdivý obraz o vnútornej stavbe stromu. Akustické vyšetrenie stromov už dlhé roky realizujú v Maďarsku /1, 16, 17/.

MATERIÁL A METODA

Všetky dřeviny sme hodnotili z hľadiska ich stupňa poškodenia, sadovníckej hodnoty a predpokladanej životnosti. Na stromoch sme zmerali obvod kmeňa $d_{1.3}$. S adovnícke hodnotenie sme vyjadrili podľa metodiky /15/, kde jednotlivé kvalitatívne stupne sú bodované od 1–5 bodov, pričom najkvalitnejšie dřeviny sa ocenia 5 a najmenej hodnotné 1 bodom. Zaradenie do jednotlivých klasifikačných tried uvádzame v prácach /3, 5, 6, 7/. C elkový zdravotný stav a stupeň poškodenia sme hodnotili 6 bodovou stupnicou (0 – dřeviny bez príznakov poškodenia, 1. stupeň na dřevinách sa ojedinele vyskytujú pôvodcovia ochorenia, 5. stupeň – úplne suchý alebo usychajúci strom, stabilita výrazne narušená, strom sa odporúča na výrub. Aby sme znížili vplyv subjektívneho hodnotenia súčasného stavu dřeviny, vizuálne hodnotenie sme rozšírili nami vypracovanou metodikou, ktorá je uvedená v prácach /3, 5, 6, 7/. Pôvodcov ochorenia a poškodenia dřevín sme diagnostikovali bežnými fytopatologickými metódami. Na základe výsledkov hodnotenia celkového zdravotného stavu a vitality dřevín sme stanovili predpokladanú životnosť, ktorú môžu dřeviny dosiahnuť po realizácii navrhnutých ochranných opatrení. V predloženom príspevku uvádzame len výsledky stupňa poškodenia dřevín.

Vizuálnu diagnostiku sme u poškodených stromov doplnili stanovením stability zvukovým tomografom FAKOPP 3D. Princíp merania týmto prístrojom je v publikáciách /1,3,4,11/. Výsledky výšetrenia dutiny akustickým tomografom sa z názornia graficky. Porovnanie po asanácii stromu sa urobí farebná fotodokumentácia prierezom kmeňa.

Vplyv stresových faktorov na dřeviny biotickými a abiotickými škodlivými činiteľmi sme hodnotili v Bratislave na S adovej ulici (48°09'49''N, 17°07'55''E), v Pezinku v Zámockom parku (48°17'30''N, 17°16'01''E), v Mestskom cintoríne v Modre (48°19'42''N, 17°18'51''E).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V stromoradi na S adovej ulici v Bratislave sa hodnotilo 26 stromov vo veku 70–80 rokov. Z nich prevládala *Aesculus hippocastanum* (22 ks). Zistili sme, 11 pa gašťanov bolo poškodených stupňom 4 a 5. Ani nákladné ošetrovanie (odstránenie suchých a poškodených konárov v celej korune ošetrovanie otvorených rán a priebežných dutín na kmene a konároch) by nezvýšilo životnosť týchto stromov, navrhli sa na asanáciu. Oslabenie stromov spôsobilo okrem nevhodných stanovištných podmienok a zanedbaná údržba stromov plaskáčik pagašťanový (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimic). Škody spôsobuje jeho larválne štádium. Vyžieraním listového parenchýmu vytvárajú rozsiahle míny, listy usychajú, hnednú a predčasne opadávajú. Potvrdili sme to aj na viacerých lokalitách Slovenska /2,7,10/.

Významné podklady o pôsobení stresových faktorov sme získali hodnotením dřevín v Zámockom parku v Pezinku. Zistili sme, že z 1200 hodnotených dřevín v dôsledku nedostatočnej starostlivosti sa v predchádzajúcich rokoch a sanovalo 81 stromov. V čase hodnotenia stupňom 4 a 5 bolo poškodených 72 stromov, ktoré sa museli asanovať. V parku ostalo 1088 perspektívnych stromov, po ich odbornom ošetrovaní a zabezpečení optimálnych podmienok na ich pestovanie budú plniť svoju dendrologickú a estetickú funkciu.

Špeciálne pestovateľské podmienky treba zabezpečiť stromom v cintorínoch. Potvrdili sme to v mestskom cintoríne v Modre. Z 254 dřevín 30 bolo poškodených v vysokom 4 a 5 stupni poškodenia. Na 119 dřevinách sme navrhli len udržiavacie pestovateľské zásahy. Ďalšie dřeviny (105 dřevín) po odbornom ošetrovaní sú perspektívne na ďalšie pestovanie. Získané poznatky potvrdili výsledky hodnotenia dřevín i nými a utormi. V Budapešti (17) hodnotil 3168 stromov. V prvej etape urobil vizuálne hodnotenie dřevín a po vyhodnotení výsledkov stanovil stabilitu stromov a kustickým tomografom FAKOPP 3D. Na základe komplexného hodnotenia navrhol 1073 stromov na asanáciu. Podľa neho príčinou takého vysokého počtu poškodených stromov je, že sa ošetrovanie stromov nevenuje dostatočnú pozornosť.

Estetickú hodnotu drevín znižujú biotické škodlivé činitele, ktoré poškodzujú asimilačné orgány, kmene konáre aj korene. Ich včasná diagnostika je základom vypracovania účinných ochranných opatrení. Príkladom je výskyt ploskáčika pagaštanového (*Cameraria ohridella* (Deschka) Dimić. Narastá aj dopyt po šetrnejších metódach. Jednou z nich je aj technika mikroinjektáže, ktorú sme v boji proti tomuto škodcovi úspešne realizovali viac ako 10 r okov. Mikroinjektáž je technikou, pri ktorej sa aplikujú ní zke objemy (2–3 ml) fytotherapeuticky účinnej látky, obsiahnutej v kapsuliach (injektoroch), do otvorov na báze kmeňa stromov. V priebehu niekoľkých minút alebo hodín, v závislosti od počasia a druhu dreviny, je transpiračným prúdom distribuovaná účinná látka do konárov a listov. Z hľadiska ochrany životného prostredia je to jedinečná metóda, pretože účinná látka sa cielene dostane len tam, kde je pôvodca poškodenia.

Výsledky vizuálneho hodnotenia sa využívajú na realizáciu ochranných opatrení, na odstránenie zdrojov nákazy. Pri podrobnom hodnotení každej dreviny je reálny predpoklad, že sa zaznamenajú pôvodcovia ochorenia, ktorí sa vyskytli na našom území prvýkrát.

Významným zdrojom novej nákazy je bohatá výmena drevín pri nákupe v okrasných škôlkach. Nezodpovednosť zahraničných dodávateľov je príčinou zavedenia nových škodcov príkladom je *Dryocosmus kuriphilus* – hrčiarka gaštanová, ktorá sa zaznamenala v okrasnej škôlke na Slovensku, hoci rastlinný materiál mal platný fytokaranténny certifikát, ktorý potvrdzoval, že rastliny pochádzajú z oblasti, kde sú stromy zdravé.

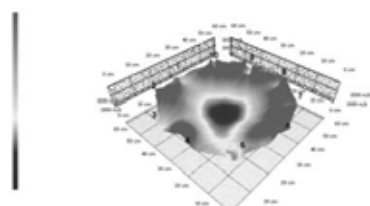
Kontrola zdravotného stavu znižuje negatívny vplyv parazitických húb, ktorí sa k nám dostanú nepriamo šírením ich reprodukčných orgánov vzduchom, dažďovými oblakmi a rôznymi vektormi, pre ktorých prirodzené hranice medzi štátmi neplatia.

Pri vizuálnom hodnotení sa rozoznávajú zmeny v korunách stromov, praskliny, rôzne dutiny a ich rozmery. Nedajú sa spoľahlivo stanoviť skryté dutiny, zmeny pri výskyte vnútorných hnilôb a podobne. Z toho dôvodu je vhodné používať také prístroje, ktoré bez mechanického poškodenia dokážu dať pravdivý obraz o vnútornej stavbe stromu.

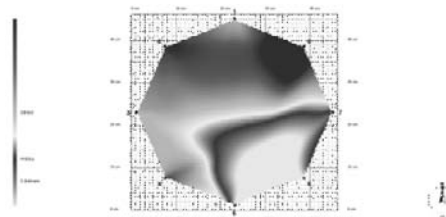
Zistili sme, že vizuálne hodnotenie je vhodné doplniť stanovením stability stromov dostupnými nedeštruktívnymi metódami. Na našom pracovisku využívame zvukový tomograf FAKOPP 3D, ktorý vyvinuli na Lesníckej univerzite v Šoproni pod názvom FAKOPP 3D.

Vizuálnu diagnostiku sme na 15 lokalitách a 42 stanovištiach doplnili stanovením stability kmeňov zvukovým tomografom FAKOPP 3D.

Uvádzame výsledky hodnotenia stromov zvukovým tomografom FAKOPP 3D z parku pri Cukrovare Sereď a z Detského ihriska v Nitre. Výsledky hodnotenia potvrdili úda autorov [1,16,17].



Aesculus hippocastanum Sereď
Stup. pošk. 4, bezpeč. faktor 217%
Znížená stabilita



Pinus nigra Nitra
Stup. pošk. 4, bezpeč. faktor 106%
Znížená stabilita

Vzhľadom na to, že stromy ohrozovali bezpečnosť obyvateľov navrhli sme ich asanovať.

Významným stresovým faktorom na drevinách vo verejnej zelene je poškodenie koreňov. Na frekventovaných miestach odporúčame hodnotiť aj stav koreňov. Sú vypracované nedeštruktívne metódy, ktoré ľahkými skúškami zistia, či nehrozí vyvrátenie stromov v dôsledku poškodenia koreňov [12,17]. Tieto skúšky sa odporúča robiť na frekventovaných

miestach pri detských ihriskách, školách, v parkoch.

Drevinám vo verejnej zeleni sa aj v našich podmienkach sa venujú /13,14/, ktorí získali nové poznatky o drevinách v mestskom prostredí. Vďaka súdobým podkladom pre správcov a majiteľov drevín, pri ich odbornom ošetrovaní.

Oslabené stromy napádajú pôvodcovia poškodenia, spôsobujú usychanie asimilačných orgánov, konárov a celých stromov. Potvrdili sme, že stresovými faktormi na hodnotených územiach bol **deficit živín a vlahy v pôdach, spôsobovanie antropickou činnosťou** – človekom (olamovanie konárov, poškodzovanie kmeňa, odretie kôry a poškodenie kmeňa dopravnými prostriedkami, uloženie asfaltu chodníkov až ku kmeňu stromu), **neodborná a neúplná údržba v egetácii** a starostlivosť o dreviny (nesprávny orez konárov, zanedbaná kontinuálna ochrana voči hubovým chorobám a živočíšnym najmä listožravým škodcom, zanedbaná starostlivosť z hľadiska okopávania, zalievania a prihnojovania drevín), **výskyt chorôb a škodcov** (napádajú najčastejšie dreviny, ktoré sú fyziologicky oslabené zmenenými podmienkami prostredia, vstupujú do otvorených rán na drevinách spôsobených ľudskou činnosťou a neodbornou údržbou, osídľujú dreviny, na ktorých sa nerobilo preventívne a pravidelné ošetrovanie, údržba a ochrana).

Súbor uvedených faktorov vyvoláva v mestských podmienkach zníženú vitalitu drevín, degradáciu ich ekologických, environmentálnych a estetických funkcií, predčasnú usychanosť a odumieranie drevín a zvýšenie výskytu pôvodcov poškodenia.

Hodnotené územia sú vystavené veľkému tlaku návštevníkov treba preto zabezpečiť

- Odbornú a úplnú údržbu drevín a zabezpečiť odbornú údržbu (správny orez konárov stromov, ochrana voči pôvodcom hubových chorôb a živočíšnym škodcom).

- Zabezpečiť starostlivosť o mladé stromy, ktoré sa vysadia ako náhradná výsadba za stromy, ktoré sa pre nízku dendrologickú a estetickú hodnotu navrhli na výrub.

- Pravidelne ošetriť každú reznú ranu, ktorá môže byť vstupnou bránou infekcie parazitickým mikroskopickým a drevokazným hubám.

- Odporúčame robiť pravidelnú údržbu kolekcií drevín tak, aby sa ku každému stromu pestovateľ vrátil aspoň raz za tri roky, zníži sa tak negatívny vplyv stresových faktorov

- odstraňovať všetky zdroje nákazy

- asanovať poškodené a suché konáre a stromy, ako zdroj nákazy

- odstrániť pnie po asanovaných stromoch – sú ohniskom nákazy pre zdravé stromy

- dreviny v mestách majú dlhú životnosť, žijú v špeciálnych podmienkach, intenzívne sa ošetrojú a z toho dôvodu mali by sa o nich viesť presné záznamy, tzv. registračné listy so základnými údajmi (stanovište, vek, zdravotný stav, poškodenie kmeňa, konárov, asimilačných orgánov a koreňov, hlavne miesto a rozsah hniloby). Údaje sú doplnené výsledkami stanovenia stability stromu zvukovým tomografom a ťahovými skúškami /9/.

- Na základe našich dlhoročných výsledkov výskumu drevín vo verejnej zeleni záverom konštatujeme, že stresové faktory, ktoré znižujú životnosť drevín sa dajú eliminovať len tak, že odborníci vpracujú metodické postupy pre vytvorenie optimálnych podmienok pre hostiteľov a nepriaznivé podmienky pre pôvodcov poškodenia /9/.

LITERATÚRA

- /1/ Divós, F., Denes, L., Inungues, G.: Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. *Holzforschung*, 59, 2005: 2–7.
- /2/ Hrubík, P., Juhásová, G.: Rozšírenie a škodlivá činnosť ploskáčika pagaštanového – *Cameraria ohridella* (Deschka) Dimič na Slovensku. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 1(2), 1998: 21–23.
- /3/ Juhás, D., Kobza, M.: The results of the visual evaluation of *Salix fragilis* in Bratislava and determination of the stability with acoustic tomograph Fakopp3D. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 15, 2012a: 21–24.
- /4/ Juhás, D., Kobza, M.: Stanovenie stability stromov vizuálnymi metódami akustickým tomografom FAKOPP 3D. *Svět zeleně: odborný magazín pro trávnickáře, zahradníky, školkaře, správce veřejné zeleně*, 3, 2012b: 74–75.

- /5/ Juhásová, G., Serbinová K.: Metódy fytopatologického hodnotenia drevín v mestských a glomeráciách na príklade Komárna. In: Ekológia a tvorba sídelnej a poľnohospodárskej krajiny. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 1996: 181–183.
- /6/ Juhásová, G., Tkáčová, S., Kobza, M.: The results of phytopathological and mycological research of the trees on Sunlakes in Senec. In: Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Forst- und Landwirtschaft, Germany, No. 394, 2003: 35–41.
- /7/ Juhásová, G., Adamčíková, K., Kobza, M.: Environment – friendly control measure methods. In: Proceeding of abstracts from 3rd Global Botanical Gardens Congress, Wuhan, China, 16.–20. April 2007. Congress Proceedings: 118.
- /8/ Juhásová, G., Juhás, D., Szaller V., Jánvári, R., Divós, V.: Metódy hodnotenia drevín zvukovým tomografom, Zahradníctví, 12, 2010: 5–7.
- /9/ Kelemen, G.: Inštrumentálne vyhodnocovanie stromov – obmedzenia, Banská Bystrica. In: Juhásová, G. (zost.): Dreviny vo verejnej zelene 2010: recenzovaný zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou 22.–23. 3. 2010, Banská Bystrica. Ústav ekologie lesa Zvolen, Pobočka biológie drevín, Nitra, 2010: 24–29.
- /10/ Kobza, M., Juhásová, G., Adamčíková, K., Ondrušková, E.: Tree injection in the management of horsechestnut leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). Gesunde Pflanzen, 62, 2011: 139–143.
- /11/ Kobza, M., Juhásová, G., Juhás, D., Ondrušková, M.: Význam hodnotenia stability stromov. In: Adamčíková, K., Kobza, M. (zost.): Dreviny vo verejnej zelene 2011: recenzovaný zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou, 17.–18. máj 2011, Nitra. Ústav ekologie lesa Zvolen, Pobočka biológie drevín, Nitra, 2011: 103–107.
- /12/ Kolařík, J., Szórádová, A.: Hodnocení stromů tahovými zkouškami. In: Juhásová, G. (zost.): Dreviny vo verejnej zelene 2010: recenzovaný zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou 22.–23. 3. 2010, Banská Bystrica. Ústav ekologie lesa Zvolen, Pobočka biológie drevín, Nitra, 2010: 132–135.
- /13/ Kmeť, J., Hlaváč, P.: Fyziologický a zdravotný stav drevín v mestskom prostredí, Banská Bystrica. In: Juhásová, G. (zost.): Dreviny vo verejnej zelene 2010: recenzovaný zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou 22.–23. 3. 2010, Banská Bystrica. Ústav ekologie lesa Zvolen, Pobočka biológie drevín, Nitra, 2010: 116–122.
- /14/ Kováčová, I., Kukla, J., Kuklová, M., 2011: Dreviny vybraných parkov mesta Zvolen. In: Adamčíková, K., Kobza, M. (zost.): Dreviny vo verejnej zelene 2011: recenzovaný zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou, 17.–18. máj 2011, Nitra. Ústav ekologie lesa Zvolen, Pobočka biológie drevín, Nitra, 2011: 113–120.
- /15/ Machovec, J.: Sadovnícká dendrologie. SPN, Praha, 1982: 246.
- /16/ Szaller, V.: Stanovenie počtu kodenia drevín drevnými hubami použitím zvukového tomografu. In: Dreviny vo verejnej zelene 2013: In: Pastirčáková, K., Kádasi Horáková, M. 2013: 95–102.
- /17/ Szaller, V., Jánvári, R.: Metódy hodnotenia drevín vo verejnej zelene v Budapešti. In: Juhásová, G. (zost.): Dreviny vo verejnej zelene 2010: recenzovaný zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou 22.–23. 3. 2010, Banská Bystrica. Ústav ekologie lesa Zvolen, Pobočka biológie drevín, Nitra, 2010: 200–202.
- /18/ Wessoly, R.: a contribution to the proper assessment of the strength and stability trees. Arboricultural Journal, 1989, 13: 45–65.

Podakovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory grantu VEGA 2/0071/14.

STIMULUJE ENDOFYTICKÁ HUBA *BEAUVERIA BASSIANA* (BALS.-CRIV.) VUILL. SUCHOVZDORNOSTĚ U AGÁTU BIELEHO (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.)?

DOES ENDOPHYTIC FUNGUS BEAUVERIA BASSIANA (BALS.-CRIV.) VUILL. STIMULATE DROUGHT TOLERANCE IN BLACK LOCUST (ROBINIA PSEUDOACACIA L.)?

Peter Ferus, Marek Barta, Dominika Bošiaková, Jana Konôpková
Arborétum Mlyňany SAV, Vieska nad Žitavou 178, 95152 Slepčany, Slovenská republika, tel. +421
37 633 42 11, e-mail: peter.ferus@savba.sk

Summary

This work tries to answer a question if endophytic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. could alleviate negative effects of drought and modify N-metabolism in black locust. Analysis of water regime and production parameters showed that drought tolerance/avoidance of this tree species was not enhanced by fungus application. On the other hand, it provided tissue N concentration.

Key words: black locust, drought, endophytic fungus Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill., water regime, N-metabolism

Súhrn

Naša práca prináša odpoveď na otázku, či endofytická huba *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. zmierni negatívne následky sucha a ovplyvní dusíkatý metabolizmus a agátu bieleho. Analýza parametrov vodného režimu a produkcie dendromasy ukázala, že suchovzdornosť agátu sa následkom jej aplikácie ne zvýšila. Na druhej strane, huba podporila koncentráciu dusíkatých látok v pletivách tejto dreviny.

Kľúčové slová: agát biely, sucho, endofytická huba Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill., vodný režim, metabolizmus dusíka

ÚVOD

Sucho významne znižuje úroveň lesnej produkcie ako aj estetický efekt parkových výsadiel / 1/. K dispozícii je viacero možností, ako zmierniť jeho negatívne následky. Najprirodzenejšou cestou k dosiahnutiu tohto cieľa je azda využitie ďalších biotických zložiek prostredia.

V rastlinných telech žijeme množstvo endofytických mikroorganizmov schopných modifikovať príjem vody, alokáciu metabolitov, rýchlosť tvorby biomasy resp. toleranciu voči biotickým či abiotickým faktorom prostredia, a tým ovplyvniť ich fytoecologické postavenie /2/.

Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill. je endofytická huba, ktorá bola poprvakrát popísaná predtým ako v roku 2002. Býva sa vyskytuje v pôde, vode, v zduchu, v rastlinách, hmyze a iných živočíchoch mierneho až tropického pásma. V súčasnosti sa študuje predovšetkým v kontexte bioregulácie škodlivého hmyzu, no jej účinky na samotné rastliny dosiaľ nie sú známe /3/.

Z tohto dôvodu sme sa v našej práci zamerali na zodpovedanie otázky, či je táto huba schopná nejakým spôsobom pomôcť rastlinám vyhnúť sa suchu, alebo ho tolerovať. Keďže na

našom pr acovisku máme bohatú radosť štúdiu rôznych aspektov života a génu bieleho (*Robinia ps eudoacacia* L.) / 4/, a táto dr evina je schopná symbiotickej fixácie vz dušného dusíka, zaujímalo nás tiež, či *Beauveria* modifikuje aj dusíkatý metabolizmus.

MATERIÁL A METODIKA

Rastlinný materiál a jeho kultivácia

Na jeseň 2011 boli v lese v susedstve Arboréta Mlyňany SAV nazberané semená agátu bieleho (*Robinia ps eudoacacia* L.). Pre o bmedzenie genetickej variability p ochádzali z jedného materického stromu. Nasledovala ich chemická s karifikácia (1,5 hodiny v 93 % kyseline sírovej) a do začiatku pokusu boli uložené v chlade (4 °C). V lete 2012 sme ich nechali naklíčiť a vyrovnané jedince sme vysadili do nádob sterilizovaných 3,5 % NaClO so substrátom obsahujúcim drobný štrk (<4mm), záhradný substrát (AgroCS, ČR) a kompost zmiešaný s ornitou v pomere 1:2:4, ktorý bol sterilizovaný teplom (150 °C po dobu 3 hodín). Semenáče boli pestované v kultivačnej komore pri umelom osvetlení o intenzite 100 μmol.m⁻².s⁻¹, fotoperióde 16/8 hodín (deň/noc) a teplote 28/22 °C. Rastliny boli pravidelne zalievané vodou. Do pokusu sa použili vyrovnané jedince v počte 4 ks na variant.

Inokulácia a dehydratácia

Približne mesiac a pol staré stromčeky boli inokulované endofytickou hubou *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., lokálny izolát z Arboréta Mlyňany SAV, ponorením nadzemnej časti rastliny do suspenzie spór (10⁷ ml⁻¹ s klíčivosťou nad 95 %) s prídavkom zmáčadla (Tween 20) po dobu 10 s. Prerastanie huby do pletív semenáčov, ktoré vyžaduje vysokú vzdušnú vlhkosť, bolo zabezpečené ich trojdňovým prekrytím bezfarebnou fóliou. Po týždni od inokulácie sme začali s dehydratáciou časti inokulovaných a neinokulovaných rastlín, a to prerušením zálievky na 12 dní. Prítomnosť huby v inokulovaných dehydratovaných rastlinách bola verifikovaná kultiváciou s egmentov listov na Sabouraudovom agarovom médiu za štandardných podmienok.

Meranie fyziologických parametrov

Pred inokuláciou, po nej ako aj po skončení dehydratácie boli merané nasledovné fyziologické parametre: 1. relatívny obsah vody vrchných vyvinutých listov (RWC; gravimetricky); 2. osmotický potenciál týchto listov (Ψ_s; refraktometricky) /5 /; 3. priechodnosť vodivost na spodnej strane uvedených listov (g_s; porometer SC-1, Decagon Devices, USA); 4. veľkosť listovej plochy (A; skener a softvér ImageJ); 5. hmotnosť sušiny nadzemnej časti a koreňa (W_s a W_R).

Nasledovali spektrofotometrické (Jasco V-630, Japonsko) stanovenie týchto parametrov vrchných vyvinutých listoch: 6. koncentrácie fotosyntetických pigmentov /6/; 7. peroxidu vodíka /7/; 8. ureidov /8/ a 9. celkových bielkovín /9/, z ktorého sme odvodili 10. obsah celkového dusíka (obsah celkových bielkovín/6,25). Pri určení 11. podielu N ureidov na celkovom obsahu N sme brali do úvahy 4 atómy N v ich molekule.

Štatistická analýza

Namerané výsledky boli podrobené štatistickej analýze rozptylu (Statgraphics Plus v. 4). Na tento účel poslužil LSD test na hladine významnosti 0,05. Nasledovala analýza vzťahov medzi jednotlivými parametrami (MS Excel 2003), ktorej výstupom boli korelačné koeficienty (r).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnotenie relatívneho obsahu vody (RWC, Tab.1) listov ukázalo, že dehydratované rastliny agátu bieleho trpeli v závere pokusu miernym stresom zo sucha /10/. Medzi jedincami inokulovanými a neinokulovanými hubou *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. však nebol

pozorovaný žiadny štatisticky významný rozdiel. Osmotický potenciál (Ψ_s) dosahoval vo všeobecnosti v ysoké h odnoty a namerané odlíšnosti ne boli s pôsobením i inokuláciou a ni dehydratáciou. Na úrovni stomatarnej konduktivity (g_s) sa i inokulácia prejavila v prvej fáze negatívne, ne skôr pozitívne. U dehydratovaných rastlín však ne mala žiadne efekt. Celková listová plocha rastlín (A) rástla pod vplyvom inokulácie pomalšie. Dehydratované rastliny bez ohľadu na inokuláciu ostali v tomto ukazovateli na počiatkovej úrovni. V hmotnosti sušiny nadzemnej časti (W_s) sa účinok (pozitívnym smerom) endofytickej huby prejavil len u dehydratovaných jedincov. Naopak, pri raste koreňového systému (W_R) s pôsobila inokulácia vo všeobecnosti s pomalením. Na pomere hmotnosti sušiny koreňa a nadzemnej biomasy (W_R/W_s) sa tieto výsledky prejavili len u neinokulovaných dehydratovaných semenáčkov.

Tab. 1: Vývoj parametrov vodného režimu a rastovo-produkčných ukazovateľov v priebehu pokusu

Variant	RWC (%)	Ψ_s (MPa)	g_s (mmol.m ⁻² .s ⁻¹)	Parameter A (cm ²)	W_s (g)	W_R (g)	W_R/W_s
C	88,6±2,0b	-0,231±0,078ab	285,4±17,2f	213,9±18,2a	0,630±0,053a	0,123±0,024a	0,233±0,080a
<i>inokulácia</i>							
N	91,3±2,5bc	-0,115±0,077ab	197,8±10,0e	256,4±39,2a	0,774±0,096ab	0,208±0,016ab	0,270±0,029a
I	92,3±1,3bc	-0,049±0,021b	124,9±19,9d	299,2±78,9a	0,843±0,199ab	0,148±0,036a	0,256±0,019a
<i>dehydratácia</i>							
NH	95,0±2,4c	-0,277±0,136a	60,8±6,6b	556,9±80,5c	1,644±0,207d	0,434±0,015d	0,231±0,010a
IH	92,2±2,3bc	-0,157±0,110ab	83,8±5,3c	488,3±154,6b	1,428±0,325d	0,302±0,081c	0,198±0,008a
ND	81,4±9,0a	-0,234±0,216ab	21,1±2,5a	229,9±67,2a	0,989±0,196bc	0,296±0,069c	0,362±0,057b
ID	82,2±6,5a	-0,172±0,174ab	17,6±0,8a	279,9±13,4a	1,132±0,077c	0,282±0,060bc	0,248±0,054a

C – kontrolné rastliny, N – neinokulované rastliny, I – inokulované rastliny, NH – neinokulované hydratované rastliny, IH – inokulované hydratované rastliny, ND – neinokulované dehydratované rastliny, ID – inokulované dehydratované rastliny (pre ďalšie detaily viď kapitolu Materiál a metodika). Odlišné písmenové označenie výsledkov zodpovedá štatisticky významnému rozdielu na hladine významnosti $\alpha=0,05$

Malinowski et al. [11] zhrnuli účinky infekcie tráv endofytickými hubami z rodu *Neotyphodium*. Na akumuláciu osmoticky a kŕmivých látok mali s porovnateľným efektom, no s pravidlami zvyšovali citlivosť prieduchov voči suchu a stimulovali rast koreňa. Na druhej strane, efektívnosť využitia vody potláčali. Až na veľkosť koreňovej sústavy sme teda pozorovali podobnú odozvu.

Koncentrácia chlorofylov a karotenoidov v listoch (Tab. 2) po inokulácii pr ekazne stúpala a takýto stav sa zachoval aj u dehydratovaných rastlín. Obsah peroxidu vodíka nebol detekovateľný. Inokulácia viedla k dočasnému nárastu koncentrácie ureidov v listoch, ktorý sa neskôr stratil. V prípade obsahu bielkovín a celkového dusíka sa pozitívny efekt inokulácie zachoval a je na priek z nízkeho pôsobenia dehydratáciou. Zmeny podielu ureidov na celkovom N vyvolané pokusnými zásahmi neboli štatisticky preukazné.

Tab. 2: Obsah fotosyntetických pigmentov a parametrov dusíkatého metabolizmu listov agátu bieleného v priebehu pokusu

Variant	chlorofyly (mg.g ⁻¹)	karotenoidy (mg.g ⁻¹)	ureidy (μmol.g ⁻¹)	bielkoviny (μg.g ⁻¹)	celkový dusík (mg.g ⁻¹)	% podiel ureidov
C	6,794±0,389a	0,774±0,156ab	2,488±0,435a	1,673±0,176a	0,268±0,028a	49,9±11,1a
<i>inokulácia</i>						

N	8,974±4,711a	0,799±0,127ab	4,346±1,701a	6,252±1,976c	1,000±0,316c	25,5±0,6a
I	15,017±4,783b	1,268±0,143cd	7,446±2,784b	9,076±1,958d	1,452±0,313d	30,8±2,1a
<i>dehydratácia</i>						
NH	7,743±2,437a	0,831±0,334ab	2,689±0,493a	2,489±0,695ab	0,398±0,111ab	39,2±10,7a
IH	16,230±1,285b	1,536±0,383d	2,857±0,482a	5,904±0,521c	0,945±0,083c	43,8±20,6a
ND	4,148±1,660a	0,523±0,215a	2,826±1,100a	2,213±0,125ab	0,354±0,190ab	49,0±28,0a
ID	8,313±2,661a	1,021±0,133bc	2,778±0,078a	3,780±0,706b	0,605±0,113b	30,4±5,6a

Odlíšné p ísmenové o značenie výsledkov zodpovedá štatisticky významnému rozdielu na hladine významnosti $\alpha=0,05$.

Sucho vedie k redukcii fixácie vzdušného dusíka cez nedostatočný prísun uhlíkových skeletov a kyslíka ako aj spätne-väzobnú limitáciu prostredníctvom produktov asimilácie /12/. Naše analýzy listov však nič podobné nenaznačujú.

Analýza vzťahov medzi jednotlivými parametrami (Tab. 3) odhalila silný pozitívny vzťah RWC s g_S a celkovou hmotnosťou sušiny rastlín (W_S+W_R) a stredne silnú negatívnu závislosť medzi RWC a pomerom hmotnosti sušiny koreňa a nadzemnej časti. Celkový obsah N v listoch bol však s týmto rastovým parametrom v silnom vzťahu. Ešte silnejšia závislosť bola zistená medzi celkovým obsahom N a koncentráciou chlorofylov. Za zmienku stojí ešte stredne silný pozitívny vzťah medzi obsahom ureidov a osmotickým potenciálom.

Tab.3: Korelačné koeficienty (r) charakterizujúce vzťahy medzi analyzovanými parametrami nameranými v závere dehydratácie

Parameter	Ψ_S	g_S	W_S+W_R	W_R/W_S	chlorofyly	karotenoidy	ureidy	bielkoviny
RWC	-0,049	0,655***	0,624***	-0,400**	0,234*	0,105*	0,060	-0,003
N	0,229*	-0,082	-0,530***	0,851***	-0,133*			
ureidy	0,384**	-0,133*						

* – slabá závislosť ($0,1 < r \leq 0,3$), ** – stredne silná závislosť ($0,3 < r \leq 0,5$), *** – silná závislosť ($0,5 < r < 1$).

Z uvedeného vyplýva, že endofytická huba *Beauveria basiana* (Bals.-Criv.) Vuill. nechránila semenáče agátu bieleho pred miernym suchom ani na úrovni otvorenosti prieduchového aparátu ani na úrovni stimulácie rastu koreňovej sústavy. Na druhej strane však stimulovala syntézu karotenoidov s významným protekčným účinkom. Napriek tomu, že stres nepresiahol úroveň, kedy sa spúšťa osmotické prispôsobenie, pozitívny vzťah medzi Ψ_S a koncentráciou ureidov naznačuje ich účasť v tomto procese.

Oveľa pozitívnejšie možno vnímať pôsobenie huby v kontexte dusíkatého metabolizmu agátu. Inokulácia totiž vi edla k dočasnému zvýšeniu hladiny ureidov a trvalej koncentracii chlorofylov a bielkovín v listoch. Tie sa však neodrazili na zvýšenej produkcii dendromasy. Zaujímavý je tiež relatívne silný negatívny vzťah obsahu N v pletivách a pomeru hmotnosti sušiny koreňa a nadzemnej časti, ktorý naznačuje značnú flexibilitu a komplementaritu v zapojení ciest získavania N.

LITERATÚRA

- Anderegg, L.D.L., Anderegg, W.R.L., Berry, J.A.: Not all droughts are created equal: translating meteorological drought into woody plant mortality. *Tree Physiology*, 33, 2013: 701–712.
- Rodriguez, R.J., White Jr, J.F., Arnold, A.E., Redman, R.S.: Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist*, 182, 2009: 314–330.

- /3/ Zimmermann, G.: Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17, 2007: 553–596.
- /4/ Benčať, T.: Black locust biomass production in southern Slovakia. *Acta dendrobiologica*. Veda, Bratislava, 1989: 192.
- /5/ Slavík, B. *Metody studia vodního provozu rostlin*. Academia, Praha, 1965: 302.
- /6/ Lichtenthaler, H.K.: Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350–382.
- /7/ Murkherjee, S.P., Choudhuri, M.A: Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiologia Plantarum* 58, 1983: 166–170.
- /8/ Knipp, M., Vašák, M.: A colorimetric 96-well microtiter plate assay for the determination of enzymatically formed citrulline. *Analytical Biochemistry* 286, 2000: 257–264.
- /9/ 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.
- /10/ Nilsen, E.T., Orcutt, D.M.: *The physiology of plants under stress*. 1. Abiotic factors. John Wiley, 1996: 689.
- /11/ Malinowski, D.P., Belesky, D.P.: Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science*, 40, 2000: 923–940.
- /12/ Serraj, R., Sinclair, T.R., Purcell, L.C.: Symbiotic N₂ fixation response to drought. *Journal of Experimental Botany*, 50, 1999: 143–155.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu Vega 2/0159/11.

FOTOSYNTETICKÁ AKTIVITA U KONTRASTNÝCH PROVENIENCIÍ SEMENÁČIKOV SMREKA (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) V PODMIENKACH VODNÉHO DEFICITU A PROCESU „RECOVERY“

PHOTOSYNTHETIC RESPONSE OF SPRUCE (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) SEEDLINGS ORIGINATING FROM CONTRASTING PROVENANCES TO WATER DEFICIT AND RECOVERY PROCESS

Jana Majerová¹, Ľubica Ditmarová¹, Daniel Kurjak², Eva Pšidová¹, Júlia Jankuvová¹

¹Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied v Zvolene, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, majerova@savzv.sk

²Technická univerzita v Zvolene, Lesnícka fakulta, katedra fytoológie, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

Summary

Pot experiment with 7-month old spruce seedlings was conducted during summer 2013. We used seedlings originated from two contrasting Slovak provenances, differing mainly in terms of annual rainfall, signed as PV1 (400 a.s.l.) and PV2 (931 a.s.l.). The experiment was conducted in a climate room with controlled mode of temperature, moisture and light conditions. Seedlings were grown for 8 days without watering with the purpose to record influence of drought stress on photosynthesis parameters (CO_2 assimilation rate – P_N , stomatal conductance – g_S). Then they were re-irrigated to track the recovery process. Drought stress significantly affected P_N and g_S for both provenances. On the 8th day (30th July 2013) of experiment was confirmed statistically significant influence of different spruce origin on P_N and g_S . The provenance PV1 originated from lower limit of spruce extensit responded more sensitively to drought stress. This provenance was characterized by rapid regeneration of physiological functions during „recovery“ process.

Key words: Norway spruce, provenance, drought, needle water potential, CO_2 assimilation rate, stomatal conductance

Souhrn

V priebehu leta 2013 bol v kontrolovaných podmienkach ÚEL SAV Zvolen zrealizovaný nádobový experiment s 7-mesačnými semenáčikmi smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) pochádzajúcimi z dvoch kontrastných klimatických oblastí Slovenska, líšiacich sa najmä z hľadiska zrážkovej zabezpečenia, označené ako proveniencie PV1 (410 m n. m.) PV2 (931 m n. m.). Semenáčiky boli pestované po dobu 8 dní bez zavlažovania, z účelom detekovania vplyvu sucha na úrovni parametrov fotosyntézy (rýchlosť asimilácie CO_2 – P_N , prieduchová vodivosť – g_S). Následne boli opätovne zavlažené za účelom sledovania procesu recovery. Vodný deficit významne ovplyvnil P_N aj g_S u oboch proveniencií. V 8. deň (30. 7. 2013) experimentu bol potvrdený štatisticky významný vplyv odlišného pôvodu smreka na P_N aj g_S . Proveniencia PV1 pochádzajúca z dolnej hranice rozšírenia smreka reagovala na stres suchom citlivejšie. Zároveň sa vyznačovala rýchlejšim obnovením fyziologických funkcií v procese „recovery“.

Klíčová slova: smrek obyčajný, proveniencia, sucho, vodný potenciál ihlič, rýchlosť asimilácie CO_2 , prieduchová vodivosť

ÚVOD

Smrek obyčajný (*Picea abies* [L.] Karst.) predstavuje jednu z najdôležitejších ihličnatých drevín v Európe. Citlivosť voči nedostatku pôdnej vody je považovaná za limitujúci faktor jeho rozšírenia / 8/. Meniace klimatické podmienky, predovšetkým globálne otepľovanie, môžu byť príčinou úbytku smrečín strednej Európy / 6/. Suchovýznamne ovplyvňuje procesy fotosyntézy a to takým spôsobom, že vplyvom vodného deficitu dochádza k poklesu vodného potenciálu ihlíc a následne k uzavretiu prieduchov spojenému s inhibíciou rýchlosti asimilácie $C O_2$ / 2/. Rehydratácia rastlín vystavených zimnému stresu zabezpečuje rýchlu obnovu fotosyntetických reakcií. Táto obnova prebieha v dvoch nasledujúcich krokoch. Prvé dni po zavlažení dochádza k obnoveniu pozitívnej vodnej bilancie ihlíc spojenou s otvorením prieduchov. Následne nadväzuje tvorba proteínov nevyhnutných pre správny priebeh fotosyntetickej reakcie, predovšetkým Rubisca / 5/. Spomínané reakcie sme sa snažili potvrdiť aj u nami sledovaných proveniencií. Zároveň sme chceli overiť predpoklad, že proveniencia pochádzajúca zo suchejšej klímy bude citlivejšie reagovať na vodný deficit.

MATERIÁL A METODA

V mesiacoch júl až august 2013 bol zrealizovaný nádobový experiment so 7-mesačnými semenáčikmi smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.). Semenáčky pochádzali z dvoch kontrastných klimatických oblastí Slovenska, označené ako proveniencie PV1 (dolná hranica rozšírenia smreka) a PV2. Podrobné charakteristiky jednotlivých proveniencií sú znázornené v tabuľke Tab.1.

Tab. 1: Charakteristiky sledovaných proveniencií

	PV1	PV2
Lokalita	Dubeň	Čierny Váh
Nadmorská výška	410 m n. m.	931 m n. m.
Klimatická oblasť	suchá klíma	vlhšia klíma
Zemepisná šírka	49° 12'	49° 00'
Zemepisná dĺžka	18° 41'	19° 58'

Semenáčky boli pestované v plagoch. Jeden plag obsahoval 35 jedincov, pričom každý jedinec bol pestovaný samostatne v 200 ml substrátu. Každá proveniencia bola zastúpená 8 plagmi. Experiment prebiehal v kontrolovaných podmienkach (80% vlhkosť, 18 °C teplota). Svetelný režim 12 hod deň / 12 hod noc bol zabezpečený pomocou 4 vysokotlakových sodíkových výbojok LU400PSL/T/E40. Semenáčky sme po dobu 8 dní (23.7. – 30.7.2013) vystavili postupujúcej dehydratácii, následne bolo prevedené opätovné zavlaženie za účelom sledovania procesu „recovery“ (31.7. – 6.8.2013).

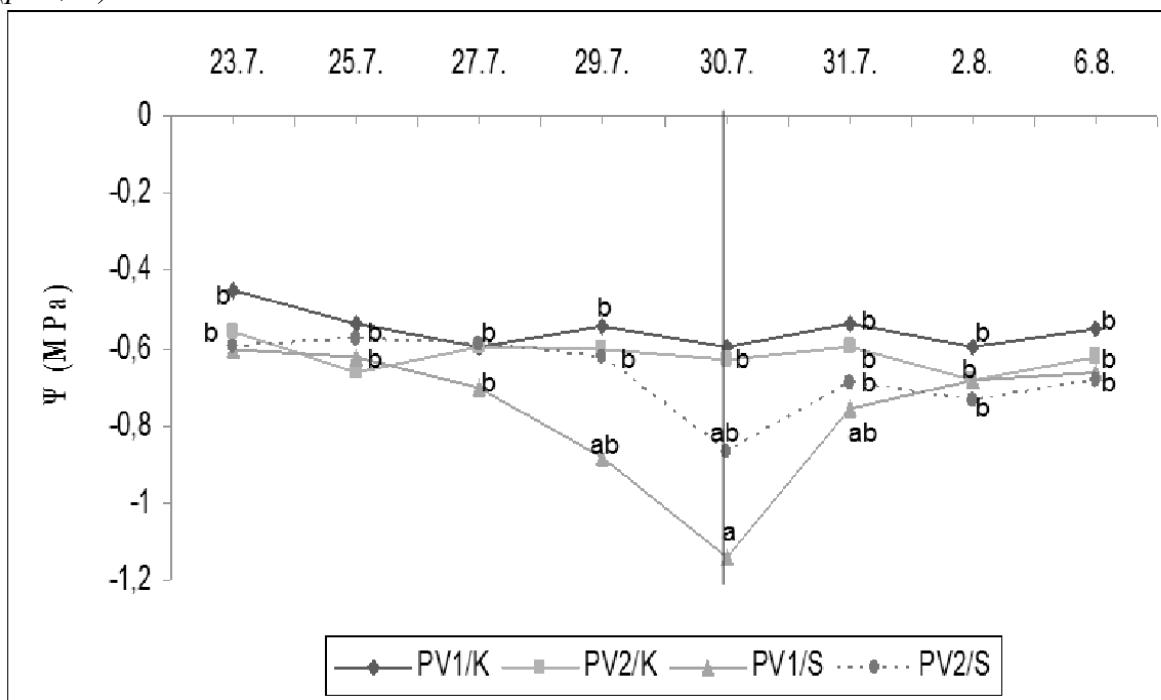
Rozdiely v reakciách kont rastných proveniencií boli sledované prostredníctvom vodného potenciálu ihlíc (Ψ_w) meraného denné nočné pustením režim „deň“, pomocou prístroja P SYPRO (Wescor, USA). V dvojdňových intervaloch boli pomocou otvoreného ga zometrického systému Li-6400XT (Li-cor, USA) zaznamenávané rýchlosti asimilácie CO_2 a prieduchová vodivosť.

Získané údaje boli následne vyhodnotené pomocou analýzy variancie ANOVA, posthoc Tukey testom.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vplyvom dehydratácie došlo k poklesu hodnôt vodného potenciálu i hĺbk suhomstresovaných jedincov na úroveň $-1,14$ MPa (graf 1), čo indikuje pôsobenie mierneho stresu [7]. Najnižšie priemerné hodnoty sme zaznamenali u proveniencie PV1 pochádzajúcej z oblasti dolnej hranice rozšírenia smreka. Zároveň boli na 8. deň (30.7.2013) experimentu potvrdené signifikantné rozdiely medzi provenienciami.

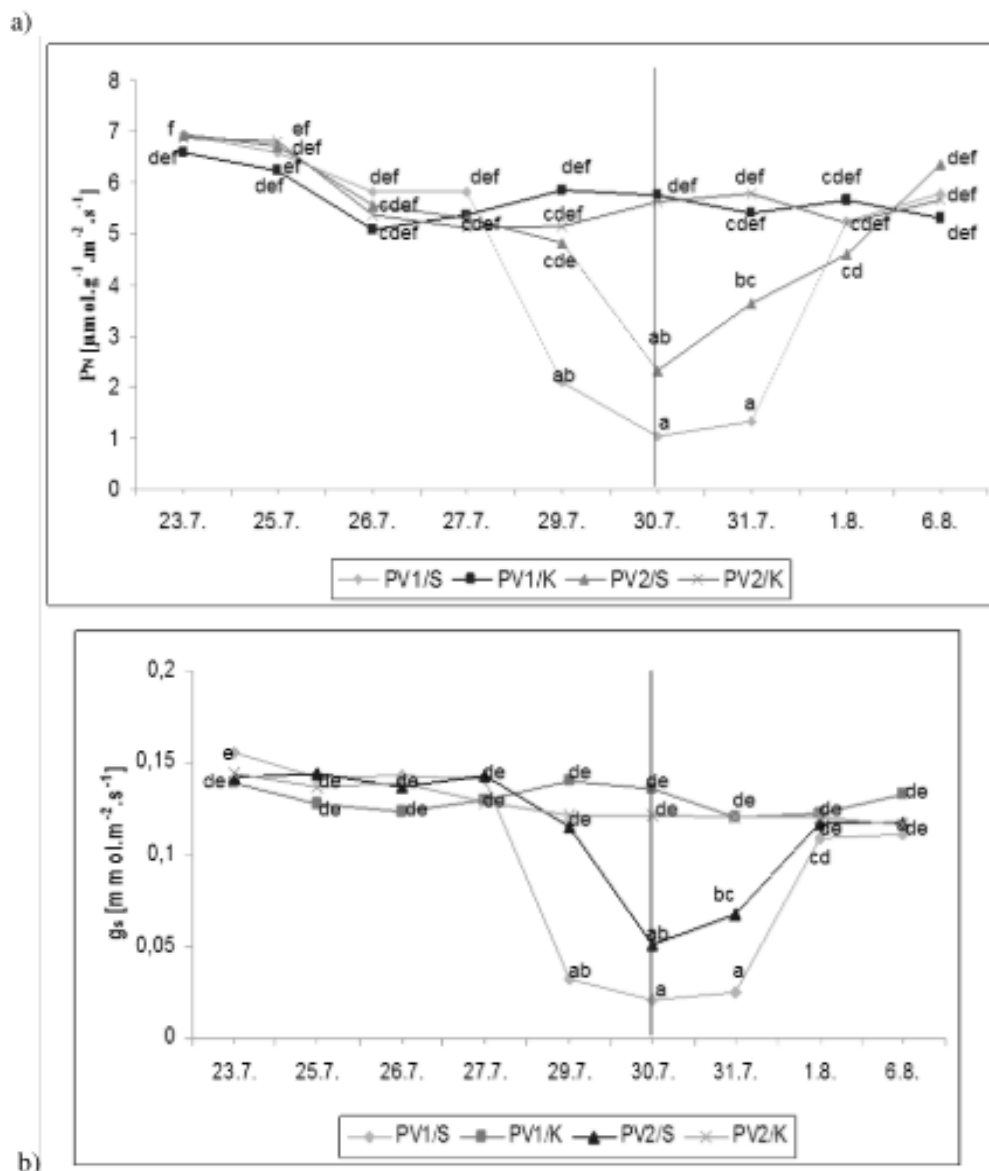
Graf 1: Priebeh hodnôt vodného potenciálu asimilačných orgánov semenáčikov smrekao byčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) počas experimentu. K označuje skupinu kontrolných, S skupinu s ucho s tresovaných jedincov. Červená čiara predstavuje začiatok procesu „recovery“. Odlišné písmená indikujú štatistickú významnosť rozdielov medzi variantmi ($p < 0,05$).



Ako dokumentuje graf 2 a), b) postupujúca dehydratácia s pôsobila pokles hodnôt P_N aj g_s . Závislosť medzi P_N a g_s potvrdzuje, že P_N je do značnej miery limitovaná činnosťou prieduchov [4]. Na začiatku experimentu boli hodnoty P_N aj g_s u semenáčikov oboch proveniencií vo variantoch s ucho aj kontrola vyrovnané. V nasledujúcich meraniach došlo len k miernemu poklesu hodnôt P_N , g_s u variantu sucho. U PV1 sme zaznamenali citlivejšiu reakciu na dehydratáciu, kedy hodnoty P_N poklesli v priebehu dvoch dní (27. 7. – 29. 7.) až o $3,73 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U PV2 klesali hodnoty P_N len pozvoľne. Pretrvávajúce stresové zmaže spôsobilo na 7. deň experimentu (29. 7.) štatisticky významné zmeny medzi provenienciami, kedy u PV1 v dôsledku dehydratácie poklesla g_s až na $0,032 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, zatiaľ čo u PV2 hodnoty g_s v tomto termíne dosahovali $0,15 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. [3] zaznamenali na 8. deň dehydratácie signifikantný pokles P_N u s ucho s tresovaných sadeníc smreka. Rozdiely medzi provenienciami pretrvávali aj v závere fázy bez zavlažovania (30. 7.).

V procese recovery (31. 7. – 6. 8.) bol v prvom dni po obnove nízkeho zalievky potvrzený signifikantný vplyv rozličného pôvodu smreka na zmeny P_N aj g_s . V nasledujúcich meraniach rozdiely medzi provenienciami ne boli potvrdené. U oboch proveniencií došlo k postupnému obnovovaniu fyziologických procesov. O päť dní po zavlažení s pôsobilo otváranie prieduchov s následným zvýšením hodnôt P_N [1]. Môžeme konstatovať, že PV2 sa

prvý deň procesu *recovery* vyznačovala rýchlejšou obnovou fyziologických funkcií, pretože u nej došlo k vyššiemu nárastu hodnôt P_N aj g_s . Celkovo však hodnotíme, že semenáčky PV1, pochádzajúce z dolnej hranice rozšírenia smreka, sa vyznačovali lepšou schopnosťou obnovy fyziologických funkcií po obnovení zálievky, nakoľko v priebehu dvoch dní (30.6. – 1.8.) u nich hodnoty g_s stúpili až o $0,0875 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ zatiaľ čo u PV2 (931 m n. m.) bol sledovaný pokles g_s len o $0,0668 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. V závere experimentu sa hodnoty P_N aj g_s variantu suchom oboch proveniencií blížili k hodnotám kontrolných jedincov.



Graf 2: Priebeh hodnôt rýchlosti asimilácie CO_2 a) a prúduchovej vodivosti b) v asimilačných orgánoch smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) počas experimentu. K označuje skupinu kontrolných, S skupinu suchom stresovaných jedincov. Červená čiara predstavuje začiatok procesu *recovery*. Odlišné písmená indikujú štatistickú významnosť rozdielov medzi variantmi ($p < 0,05$).

LITERATÚRA

1/ Bogaert-Triboulot, M. B., Brosse, M., Renaud, J., Jouven, L., Le Thiec, D., Fayyaz, P.: Gradual soil water depletion results in reversible changes of gene expression, protein profiles, and growth performance in *Populus euphratica*, a poplar growing in arid regions. Plant Physiology, 143, 2007: 876–892.

- /2/ Cornic, G.: Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATPsynthesis. Trends in Plant Science, 5, 2000: 187–188.
- /3/ Ditmarová, L., Kurjak, D., Palmroth, S., Kmeř, J., Střelcová, K.: Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. Tree Physiology, 30, 2010: 205–213.
- /4/ Farquhar, G.D., Sharkey, T.D.: Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Reviews in Plant Physiology, 33, 1982: 317–345.
- /5/ Gallé, A., Haldimann, P., Feller, U.: Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. New Phytologist, 174, 2007: 799–810.
- /6/ Hlásny, T., Barcza, Z., Fabrika, M., Balázs, B., Churkina, G., Pajtík, J., Sedmák, R., Turčáni, M.: Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in central Europe. Climate Research, 47, 2011: 219–236.
- /7/ Hsiao, T.C., Xu, L.K.: Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. Journal of Experimental Botany, 51, 2000: 363–381.
- /8/ Schume, H., Jost, G., Hager, H.: Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. Journal of Hydrology, 289, 2004: 258–274.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektů APVV-0436-10, APVV-0135-12, VEGA-2/0034/14 a VEGA-1/0218/12.

SEZÓNNA DYNAMIKA AKTIVITY ANTIOXIDAČNÝCH ENZÝMOV MEDZIDRUHOVÝCH HYBRIDOV JEDLE BIELEJ (*ABIES ALBA* MILL.)

SEASONAL DYNAMICS OF ANTIOXIDATIVE ENZYME ACTIVITIES IN THE INTERSPECIFIC HYBRIDS OF SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.)

Andrej Kormuťák¹, Peter Boleček², Martin Galgóci¹, Božena Vooková¹, Dušan Gömöry³

¹ Institute of Plant Genetics and Biotechnology SAS, Akademická 2, 950 07 Nitra, Slovenská republika, nrgrkorm@savba.sk

² Constantine Philosopher University, Faculty of Natural Sciences, A. Hlinku 1, 949 74 Nitra, Slovak Republic

³ Technical University in Zvolen, Faculty of Forestry, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, SR

Summary

Comparative study on the antioxidant enzyme activity dynamics in saplings of *Abies alba* – self pollination and its hybrid forms *A. alba* × *A. cephalonica* and *A. alba* × *A. nordmanniana* indicates enhanced levels of catalase and guaiacol peroxidase activities in the hybrids.

Key words: *Abies alba* Mill., hybrids, antioxidant enzymes

Súhrn

Porovnávacie štúdium dynamiky antioxidačných enzýmov v potomstve druhu *Abies alba* zo samoopelenia a jeho hybridných foriem *A. alba* × *A. cephalonica* a *A. alba* × *A. nordmanniana* naznačuje zvýšenú hladinu katalázy a guajakol peroxidázy u hybridov.

Kľúčové slová: *Abies alba* Mill., hybridy, antioxidačné enzýmy

INTRODUCTION

Increased production of activated oxygen species (AOS) is considered to be a non-specific response of plants to environmental stress /5/. Generated in this way superoxide anion (O_2^-), hydrogen peroxide (H_2O_2), hydroxyl radical (OH) and singlet oxygen (1O_2) are detrimental to plant cells causing damage to their membrane lipids, proteins and nucleic acids /3/. Under non-stressful conditions, AOS are eliminated by non-enzymatic and enzymatic antioxidants but under stress the production of AOS exceeds the capacity of antioxidative systems to remove them /7/. Essential role in removal of these substances play the antioxidant defence enzymes superoxide dismutase, catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase, glutathione reductase, monodehydroascorbate reductase and dehydroascorbate reductase which minimize the concentrations of superoxide and hydrogen peroxide in cells to physiologically acceptable level /4/.

The species-specific response of superoxide dismutase to phytoecological stress was reported for *Pinus sylvestris*, *P. sibirica*, *Larix sibirica* and *Picea obovata* /6/. In *Abies fabri* seedlings, a short-term exposure to experimental drought has also resulted in increased activities of their antioxidant enzymes /2/.

In presented paper, a comparative study on antioxidative enzyme activity dynamics was performed in *Abies alba* seedlings that originated from self-pollination and interspecific hybridization of the parental species and which grow under pollution.

MATERIALS AND METHODS

Comparative study was carried out on 16 year-old saplings of silver fir (*Abies alba* Mill.) originating from self-pollination of the maternal tree and from its artificial hybridization with *A. cephalonica* Loud. and *A. nordmanniana* Stev. (Spach). The permanent test plot with silver fir hybrids is located in densely polluted area near Nováky, Middle Slovakia. Three individuals of each crossing variant were subjected to an analysis of their superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX) and ascorbate peroxidase (APX) activities during spring-autumn vegetation period. The young needles of flushing buds were collected in 1-month intervals starting from May 3, 2013. Collected needles were delivered to the lab on dry ice, stored at -80°C and processed within subsequent two days. Both spectrophotometric determination of specific enzyme activities and electrophoretic separation of their isoenzymes in polyacrylamide gels were carried out.

RESULTS AND DISCUSSION

Activity dynamics of all the four enzymes was highly variable throughout investigated period. In particular it is true of SOD in needles of *A. alba* × *A. cephalonica* hybrids reaching maximal values early in May and early in July and declining profoundly at the end of the respective months. The dynamics of SOD activities in *A. alba* progeny from selfing and in *A. alba* × *A. nordmanniana* hybrids was lowered in comparison with *A. alba* × *A. cephalonica* exhibiting mostly increasing tendency during May 28 and July 27. However, at the end of investigated period *A. alba* – selfing and *A. alba* × *A. nordmanniana* differed profoundly in their SOD activities exhibiting opposite tendencies. Tested individuals contain only one SOD isoenzyme except for one *A. alba* × *A. cephalonica* tree consisting of three isoenzymes (Fig. 1, SOD, line F). As a response to SO₂ pollution, an elevated level of SOD activity in needles of *Pinus sylvestris* was recorded in two stands of the species in Germany. Not temporal variations have however been detected in needles of the 1st and 2nd age classes throughout the vegetation period.

The most distinct differences between control saplings of *A. alba* – selfing and its hybrid forms were reflected by CAT with the lowest activity detected in a control and with considerably increased activity levels in the interspecific hybrids. The enzyme seems to be a suitable marker for characterizing antioxidant potentials of the hybrids. Control individuals contained only two isoenzymes (CAT, lines A-C), whereas in the hybrid individuals one additional isoenzyme was detected (CAT, lines D-I).

Still other enzyme discriminating reliably between individual crossing variants was that of GPX. Its activity was enhanced during the whole vegetation period in *A. alba* × *A.*

cephalonica, intermediate in *A. alba* progeny from selfing and lowest in *A. alba* × *A. nordmanniana*. Contrary to this tendency, the number of isoperoxidases was lower in a selfed control (GPX, lines A-C) than in hybrid saplings (GPX, lines D-I). Some authors consider GPX to be the most important enzyme in antioxidant defence system of conifers. On the contrary, APX is postulated to be of secondary importance in this respect.

Ascorbate peroxidase activity dynamics was comparable in all the three crossing variants compared with highest activities recorded in the beginning of vegetation period and declining tendency in subsequent months. The enzyme consisted prevalently of one isoenzyme but in hybrids one additional APX isoenzyme seems to be present (APX, lines F-I). It is worth of mentioning that in *Picea abies* APX activities did not show seasonal fluctuations and were similar to those found in resting buds [9].

In a conclusion, we may state that interspecific hybrids of silver fir possess higher activities of CAT and probably also GPX what may be taken as an indirect evidence supporting more efficient antioxidative potential in hybrids than in the intraspecific crosses of the species.

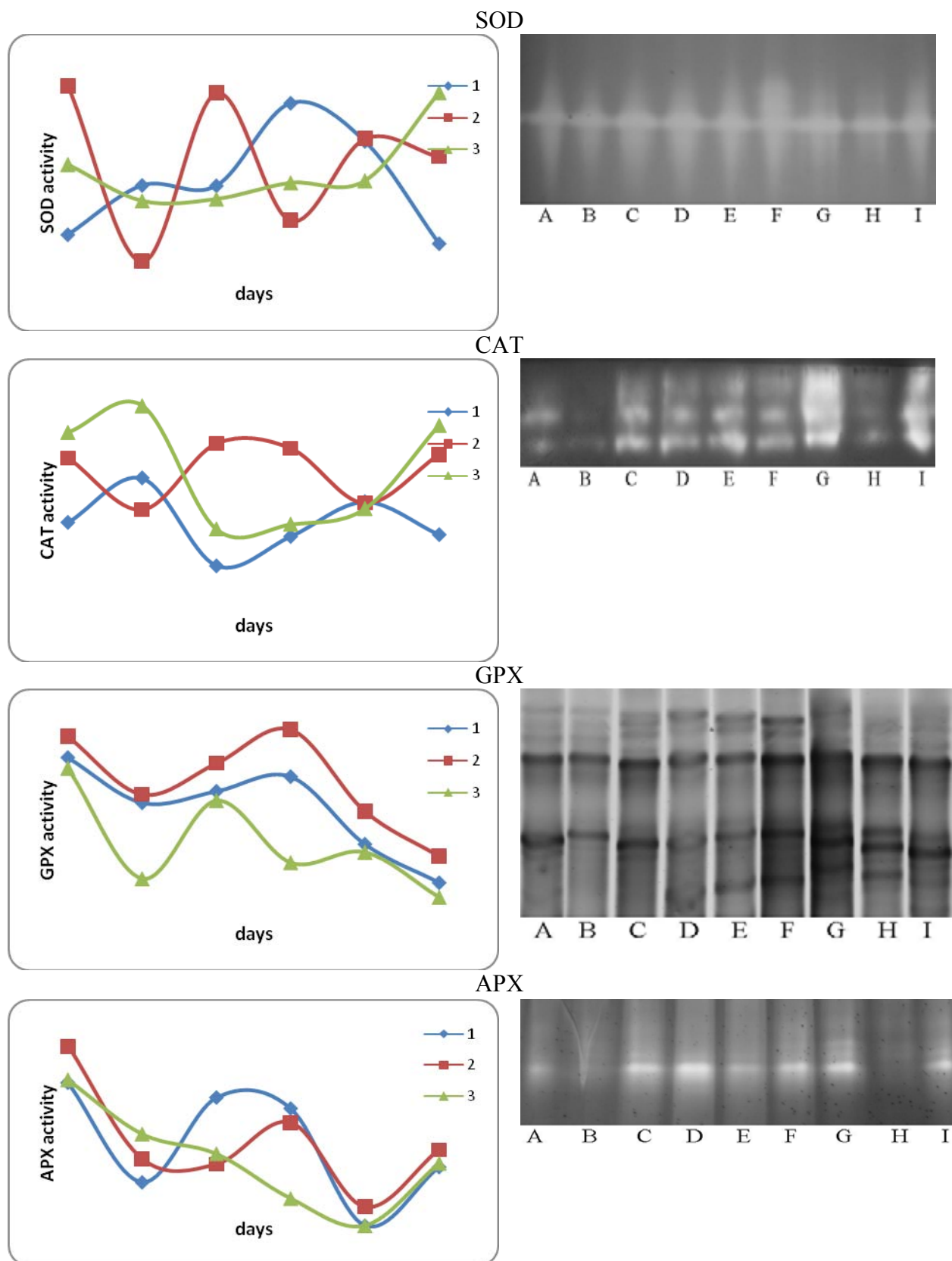


Fig. 1: Specific activity dynamics of SOD, CAT, GPX and APX in *A. alba* – self-pollinated control (1), *A. alba* × *A. cephalonica* (2) and *A. alba* × *A. nordmanniana* (3); Corresponding isoenzyme patterns in *A. alba* control (A-C), *A. alba* × *A. cephalonica* (D-F) and *A. alba* × *A. nordmanniana* (G-I).

REFERENCES

- /1/ Foyer, C. H., Noctor, G.: Oxygen processing in photosynthesis regulation and signalling. *New Phytologist*, 146, 2000: 359–388.
- /2/ Guo, J., Wang, G., Yang, L., Sun, X.: Ecological responses of *Abies fabri* seedlings to drought stress and nitrogen supply. *Physiologia Plantarum*, 139, 2010: 335–347.
- /3/ Kendall, E. J., McKersie, B. D.: Free radical and freezing injury to cell membranes of winter wheat. *Physiologia Plantarum*, 76, 1989: 86–94.
- /4/ Lu, P., Sang, W.G., Ma, K.P.: Differential responses of the activities of antioxidant enzymes to thermal stress between two invasive *Eupatorium* species in China. *Journal of Integrative Plant Biology*, doi:10.1111/j.1744-7909.2007.00583.x.
- /5/ Merzljak, M.N.: Activated oxygen and oxidative processes in plant cell membranes. *Itogi nauki i tehniki, Ser. Plant Physiology, Part 6*, 1989: 167. [In Russian].
- /6/ Miljutina, I.L., Sudachkova, N.E., Romanova, L.I.: Activity of the antioxidant system in coniferous stands of different density. *Forest Science [Lesovedeniye]*, 3, 2012: 69–76. [In Russian].
- /7/ Sánchez-Díaz, M., Tapia, C., Antolín, M.C.: Drought-induced oxidative stress in Canarian laurel forest tree species growing under controlled conditions. *Tree Physiology*, 27, 2007: 1415–1422.
- /8/ Schulz, H., Härtling, S.: Biochemical parameters as biomarkers for the early recognition of environmental pollution on Scots pine trees. II. The antioxidative metabolites ascorbic acid, glutathione, α -tocopherol and the enzymes superoxide dismutase and glutathione reductase. *Zeitschrift für Naturforschung*, 56c, 2001: 767–780.
- /9/ Polle, A., Kroniger, W., Rennenberg, H.: Seasonal fluctuations of ascorbate-related enzymes: Acute and delayed effects of late frost in spring on antioxidative systems in needles of Norway spruce (*Picea abies* L.). *Plant and Cell Physiology*, 37, 1996: 717–725.

Acknowledgement

This study was conducted in the frame of the COST Action STReSS.

KOMPLEXNÍ PŘÍSTUP K MĚŘENÍ RADIAČNÍHO PROSTŘEDÍ V MĚSTSKÉ AGLOMERACI

THE COMPLEX APPROACH TO RADIATION MEASUREMENT IN URBAN AGGLOMERATION

Marie Opálková, Martin Navrátil, Vladimír Špunda

Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyziky, Chittussiho 10, 710 00
Slezská Ostrava, Česká republika, opalkovamarie@seznam.cz, Martin.Navratil@osu.cz,
Vladimir.Spunda@osu.cz

Summary

The north-eastern Moravia typically experiences some of the most severe air pollution in central Europe. The dust particles PM_{10} , nitrogen oxides NO_x and tropospheric ozone O_3 are the most relevant air pollutants in this area. Air conditions can also influence the amount and spectral composition of solar radiation which reaches the Earth's surface. Preliminary results of data analysis for January 2014 are described in this paper. Two smog episodes occurred this month. During cloudy days a proportion of blue part of photosynthetically active radiation at noon was significantly lower than on sunny days. Further, the complex approach to the measurement of solar radiation is shown. For the next measuring period the first system of radiation sensors will be placed in the present locality with higher air pollution and the second system of sensors will be placed in the locality with lower air pollution.

Key words: solar radiation, air pollution, PM_{10} , north-eastern Moravia

Souhrn

Severovýchodní Morava náleží mezi oblasti s nejvíce znečištěným ovzduším v rámci střední Evropy. Nejvíce znečišťujícími látkami jsou zde polévatý prach PM_{10} , oxidy dusíku NO_x a troposférický ozón O_3 . Kvalita ovzduší může ovlivňovat množství a spektrální složení slunečního záření, které dopadá na zemský povrch. V tomto příspěvku jsou popsány prvotní výsledky analýzy dat za leden 2014. Během tohoto měsíce nastaly dvě smogové epizody. Bylo zjištěno, že zastoupení modré složky je v poledních hodinách během zatažených dnů významně nižší než během slunečných dnů. Dále je také naznačen komplexní přístup měření dopadající sluneční radiace, kdy v následujícím měření bude jedna soustava senzorů nadále umístěna v oblasti s vyšším znečištěním ovzduší a druhá soustava senzorů bude umístěna v oblasti s nižším znečištěním ovzduší.

Klíčová slova: sluneční radiace, znečištění ovzduší, PM_{10} , severovýchodní Morava

ÚVOD

Oblast severovýchodní Moravy patří v rámci celé Evropy k oblastem s nejvyšším znečištěním ovzduší, a to z důvodu vysoké koncentrace průmyslových podniků, husté silniční sítě a také přítomnosti komunálních zdrojů znečištění /1/. Mezi látky, které se na znečištění ovzduší v této oblasti podílejí nejvyšší mírou, patří jemný polévatý prach PM_{10} a směs oxidů dusíku (NO_x), které reagují s organickými látkami obsaženými v částicích PM_{10} a spolu s působením slunečního záření umožňují vznik přízemního ozónu (O_3) /3/. Látky znečišťující

ovzduší mají neblahý vliv na lidské zdraví, a to zejména u dětí /7/, bylo ale také zjištěno, že se tyto látky podílí i na klimatických změnách /2, 9/. Jednou z vlastností směsi znečišťujících látek, tzv. atmosférického aerosolu, je schopnost snižovat množství slunečního záření, které dopadá na zemský povrch, a to jako jeho absorbcí, tak rozptylem /5/. Tento efekt je v současnosti studován ve velkém počtu světových aglomerací, v rámci Evropy např. v Aténách /6/ nebo ve Valencii /2/, dále ve světě např. v Hong Kongu /4/ nebo v průmyslové aglomeraci v severovýchodní Číně /8/. Studium tohoto efektu je důležité také kvůli jeho možnému vlivu na zemědělské plodiny, kdy v důsledku poklesu intenzity a změny spektrálního složení dopadajícího slunečního záření může docházet ke snižování výnosů plodin. Tento příspěvek je dílčím výsledkem projektu, který se zabývá účinky rozdílné kvality a kvantity slunečního záření na fotosyntézu vybraných druhů rostlin v rámci městského prostředí.

MATERIÁL A METODY

Data týkající se charakteristiky dopadajícího záření jsou získávána za pomoci dvou shodných soustav senzorů umístěných na Botanické zahradě Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity v Ostravě (GPS souřadnice 49°49'39.277" N, 18°19'34.118" E). Každá soustava obsahuje senzory pro měření záření o vlnové délce 660 a 730 nm, UVA a UVB záření (Skye, Velká Británie), globálního záření (celková energie záření ve spektrálním rozsahu 400 až 1100 nm), fotosynteticky aktivního záření (FAR, $\lambda = 400\text{--}700$ nm), záření v intervalu 510 a 700 nm a záření v intervalu 600 a 700 nm (EMS Brno, ČR). Dále jsou v rámci soustav přítomna čidla pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu (EMS Brno) a také srážek (MetOne Instruments, Čína). Všechna data jsou zaznamenávána ústřednou typou EdgeBox V12 (EMS Brno) a formát, ve kterém jsou ukládána, je přizpůsoben k analýze v software Mini32 (EMS Brno). Data jsou měřena po celý den každou minutu, přičemž je ukládán desetiminutový průměr. Data o stavu ovzduší (konkrétně hodnoty látek PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, NO, NO₂, NO_x, SO₂, O₃, CO, H₂S) byla získána z Informačního monitorovacího systému průmyslového znečištění v Moravskoslezském kraji (www.ims-msk.cz), a to pro stanici Ostrava-Radvanice z důvodu, že tato stanice je ze všech ostatních nejbližší k soustavám na Botanické zahradě PřF OU a je pravděpodobné, že hodnoty znečištění ovzduší budou nejlépe odpovídat lokalitě umístění soustavy senzorů pro měření hodnot dopadajícího záření. Data byla zpracována za využití programu Microsoft Office Excel 2013 a programu R, verze 3.0.1. Pro statistická vyhodnocení byla využita naměřená data za leden 2014. Pro zhodnocení množství dopadajícího záření byly použity hodinové průměry hodnot (tyto byly vypočítány z desetiminutových průměrů), a to pouze od osmé do patnácté hodiny (v dřívějších a pozdějších hodinách nebylo možno vypočítat hodinové průměry z důvodu nedostatečné ozáření). Hodnoty ozáření modré ($\lambda = 400\text{--}510$ nm), zelené ($\lambda = 510\text{--}600$ nm) a červené ($\lambda = 600\text{--}700$ nm) spektrální oblasti FAR jsou vypočítány z hodnot měřených čidly FAR, intervalu 510–700 nm a intervalu 600–700 nm.

VÝSLEDKY A DISKUSE

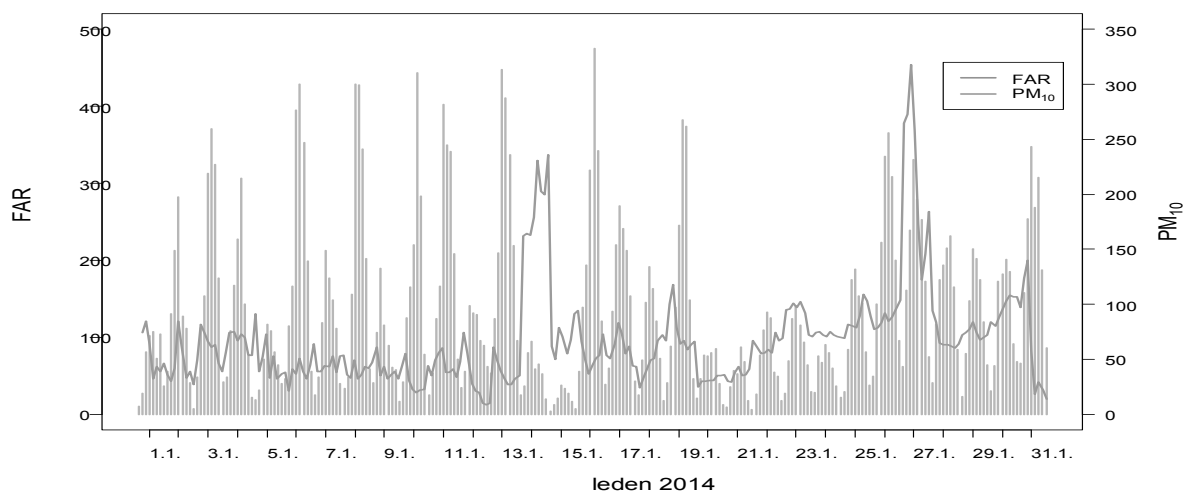
V měsíci lednu bylo zaznamenáno 18 zatažených a 13 jasných dnů. Průměrná denní teplota vzduchu v tomto období byla 1,5 °C. Statistické charakteristiky pro záření i látky znečišťující ovzduší během zatažených a jasných dnů jsou uvedeny v Tab. 1. Ve všech dnech tohoto měsíce byl alespoň jednou hodnotou překročen limit pro polévatý prach PM₁₀

(tj. $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Průměrná hodnota množství této látky v ovzduší byla během překročení limitu $92,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tab.1: Statistické charakteristiky složek dopadajícího záření a znečišťujících látek za měsíc leden během zatažených a slunečných dnů vždy od 8. do 15. hodiny

	UVA	UVB	global	Blue	Green	Red	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	O ₃	CO
ZATAŽENO	W.m ⁻²			μmol.m ⁻² .s ⁻¹			μg.m ⁻³								
minimum	0,066	0,002	1,73	2,19	1,37	0,61	9	8	7	3	8	10	6	5	338
medián	0,881	0,039	34,21	30,12	22,53	23,23	63	58,5	57	12,5	27,5	45,5	31	13	771
průměr	1,051	0,048	40,37	35,55	25,65	27,11	67,1	63,6	61,7	15,5	28,5	52	36,6	18,5	939,8
maximum	2,884	0,139	119,4	114,42	75,5	81,22	236	220	216	78	58	174	131	66	2635
SLUNEČNO															
minimum	0,103	0,003	2,96	3,69	2,16	1,43	14	13	13	3	4	4	11	5	343
medián	1,983	0,086	73,02	73,14	46,11	49,19	54	45,5	42,5	13	30	51,5	35	19	1157,5
průměr	2,045	0,096	88,49	80,98	53,95	59,06	67	61,3	58,9	18	32,3	59,7	40,5	23,3	1259,5
maximum	4,235	0,203	223,92	199,04	128,06	148,27	318	286	278	101	74	228	144	74	3773

Množství dopadajícího záření bylo zásadně ovlivněno oblačností. Za měsíc leden došlo ke dvěma smogovým událostem, a to v termínu 13. – 15. 1. a 26. – 28. 1 (graf 1).

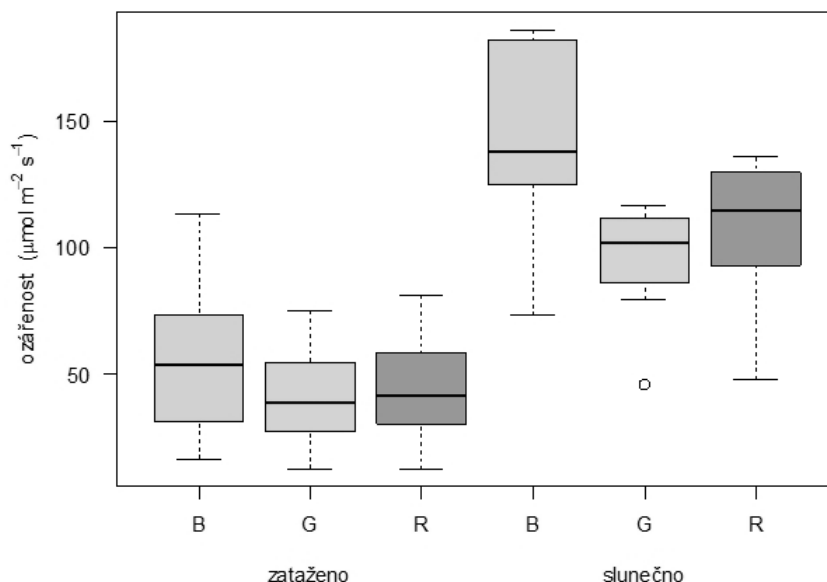


Graf 1: Denní průběh fotosynteticky aktivní radiace (FAR; $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a hodnot polétavého prachu PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) v lednu 2014. Zobrazeny hodnoty pouze od 8. do 15. hodiny každého dne.

Zajímavým zjištěním byl fakt, že modrá složka záření má v poledních hodinách (tj. od 11.30 do 12.30) za slunečných dnů signifikantně vyšší podíl ($p\text{-value} < 0,01$) než za dnů zatažených (Graf 2). Není zřejmé, proč k tomuto jevu došlo, tato situace vyzadáje další analýzu dat. V rámci dalších analýz dat bude otestována závislost spektrálního složení dopadajícího záření na množství znečišťujících látek v ovzduší. V těchto analýzách ale není možno užít klasické lineární regrese vzhladem k tomu, že data nevykazují normální, výbrž gama rozdělení (nepřímou úměrnost). Proto je nutno použít generalizované lineární modely pro toto rozdělení dat.

V následující části měření bude jedna soustava senzorů ponechána na dosavadním místě, které se nachází ve znečištěné části Ostravy (v nedalekých Bartovicích jsou každoročně měřeny nejvyšší hodnoty látek znečišťujících ovzduší /3/) a druhá soustava senzorů bude přemístěna na lokalitu s nižším znečištěním v rámci města Ostravy, přičemž budou

posuzovány kvalita a množství dopadajícího záření na těchto dvou lokalitách. V následujícím roce proběhnou také laboratorní i polní experimenty, které ověří, jak předpokládané snížené množství dopadajícího záření (a jeho jednotlivých složek) ovlivňuje funkci fotosyntetického aparátu vybraných druhů vyšších rostlin.



Graf 2: Naměřené hodnoty dopadajícího záření daných spekter v 11 hodin během zatažených a slunečných dnů v lednu 2014. Legend: B = blue (modrá); G = green (zelená); R = red (červená).

LITERATURA

- /1/ Český hydrometeorologický ústav: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012 [online]. 2013. Citováno dne 12.2.2014.
Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/kap241.html>
- /2/ Estellés, V., Martínez-Lozano, J.A., Utrillas, M.P., Campanelli, M.: Columnar aerosol properties in Valencia (Spain) by ground-based sun photometry. *Journal of Geophysical Research*, 112, 2007: D11201.
- /3/ Jančík, P., Pavlíková, I., Bita, J. et al.: Atlas ostravského ovzduší. VŠB-TUO, Ostrava, 2013: 127. ISBN 978-80-248-3006-3
- /4/ Man, C.K., Shih, M.Y.: Light scattering and absorption properties of aerosol particles in Hong Kong. *Aerosol Science*, 32, 2001: 795–804.
- /5/ Moosmüller, H., Chakrabarty, R.K., Arnott, W.P.: Aerosol light absorption and its measurement: A review. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 110, 2009: 844–878.
- /6/ Papayannis, A., Balis, D., Bais, A. et al.: Role of urban and suburban aerosols on solar UV radiation over Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 32, 1998: 2193–2201.
- /7/ Rossnerova, A., Spatova, M., Rossner, P. J. et al.: Factors affecting the frequency of micronuclei in asthmatic and healthy children from Ostrava. *Mutation Research*, 708, 2011: 44–49.
- /8/ Zhao, H., Che, H., Zhang, X. et al.: Aerosol optical properties over urban and industrial region of Northeast China by using ground-based sun-photometer measurement. *Atmospheric Environment*, 75, 2013: 270–278.
- /9/ Zhou, Y. & Savijärvi, H.: / Hrubík, P., Juhásová, G.: Rozšíření a škodlivá činnost ploskáčika pagaštanového – *Cameraria ohridella* (Deschka) Dimič na Slovensku. *Acta Horticulturae et Regioecturae*, 1(2), 1998: 21–23.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory programu COST (projekt LD14005) a Ostravské univerzity (SGS20/PřF/2014).

VPLYV ABIOTICKÝCH FAKTOROV (Se A Cd) NA SINAPIS ALBA L.

EFFECTS OF ABIOTIC FACTORS (Se AND Cd) ON SINAPIS ALBA L.

Marianna Molnárová, Agáta Fargašová

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra environmentálnej ekológie,
Mlynská dolina B2, 842 15 Bratislava, Slovenská republika, molnarova@fns.uniba.sk

Summary

Anthropogenic activity increases the amount of heavy metals in the environment, which often have phytotoxic effects. One of these metals is cadmium, which easily enters the plants. Selenium, also known as an antioxidant, could reduce the potential damage caused by cadmium. Aim of the study was focused on three Cd concentrations (71, 143 and 219 mg.l⁻¹) in combination with three concentrations of Se (IV) (7, 14 and 21 mg.l⁻¹) and assessment of their reciprocal effects on growth of photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and total carotenoids) in *Sinapis alba* L. seedlings. Antagonism was observed within inhibition of root growth for all Cd combinations with 14 and 21 Se (IV) mg.l⁻¹ and also within inhibition of shoot growth for all Cd combinations with 21 mg Se (IV) mg.l⁻¹. Only antagonistic effect was observed for the pigments.

Key words: Se, Cd, heavy metals, Sinapis alba L., reciprocal effect, antagonism

Súhrn

Antropogénnou činnosťou sa zvyšuje množstvo ťažkých kovov v prostredí, ktoré majú často aj fyto toxické účinky. K takýmto kovom patrí aj kadmium, ktoré pomerne ľahko prechádza do rastlín. Selén, známy aj ako antioxidant, by mohol znižovať potenciálne poškodenie vyvolané kadmíom. V príspevku sa sledujú tri koncentrácie Cd (71, 143 a 219 mg.l⁻¹) v kombinácii s tromi koncentraciami S(IV) (7, 14 a 21 mg.l⁻¹) a vyhodnocuje sa ich vzájomný recipročný účinok na rast a tvorbu fotosyntetických pigmentov (chlorofylu *a*, chlorofylu *b*, a celkových karotenoidov) v semenáčikoch *Sinapis alba* L. Pri sledovaní inhibície rastu koreňa sa pri kombináciách Cd s koncentraciami Se(IV) 14 a 21 mg.l⁻¹ pozoroval iba antagonizmus. Pri výhonku sa takýto vzťah potvrdil pri všetkých kombináciách Cd s 21 mg Se(IV).l⁻¹. V prípade pigmentov sa pozoroval iba antagonistický účinok.

Kľúčové slová: Se, Cd, ťažké kovy, Sinapis alba L., vzájomné recipročné účinky, antagonizmus

ÚVOD

Kadmium nie je síce pre rastliny esenciálnym prvkom, ale prechádza do nich v pomerne vysokých koncentráciách, pričom sa prejavuje jeho fyto toxický účinok. Aj keď je jeho vplyv na rastliny v literatúre pomerne často hodnotený ako inhibícia klíčenia, rastu alebo fotosyntézy, mechanizmus jeho účinku zatiaľ nie je dobre objasnený. V geologickom podloží sa vyskytuje v nízkych koncentráciách, ale v kyslom prostredí sa uvoľňuje a zvyšuje sa jeho mobilita a bioprístupnosť. Selén je známym antioxidantom, ktorý v nízkych koncentráciách zvyšuje v rastline hladinu antioxidantov (napr. vitamínu E) a aktivitu enzýmov, podieľajúcich sa na znižovaní úrovne oxidačného stresu [1]. Kovy na seba v kombináciách vzájomne

působia, čo môže viesť ku zmene ich účinku v porovnaní s účinkom jednotlivých kovov. Niektorí autori /2/ navrhli výpočet pre hodnotenie recipročného (vzájomného) účinku prvkov. Ak je tento účinok dvoch prvkov vyjadrený hodnotou $A > 100 \%$, označuje sa ako recipročne antagonistický, pri $A < 100 \%$ je synergický a pri $A = 100 \%$ aditívny. Pre naše experimenty sme vybrali neesenciálne kadmium, ktoré je vo vyšších koncentráciách pre rastliny toxický, a selén, ktorý by mohol v interakcii znižovať toxicitu kadmia. Na ekotoxikologické testy boli použité semenáčky horčice bielej (*Sinapis alba* L.), ktorá je odporúčaná na testovanie látok slovenskou normou /3/.

MATERIÁL A METÓDY

Na pokusy boli použité prvky Se(IV) a Cd v chemických formách (p.a.) SeO_2 a $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ z firmy Lachema, Česká republika. Kovy sa testovali podľa slovenskej normy v koncentráciách Se 7, 14 a 21 mg.l^{-1} (90, 180 a 270 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$), Cd 71, 143 a 219 mg.l^{-1} (90, 180 a 270 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$) /3/. Testované koncentrácie inhibujú rast koreňa približne o 25, 50 a 75 %. Semená horčice bielej (*Sinapis alba* L., cv. Severka) z firmy Chepo, s.r.o. (Unhošť – Fialka, Česká republika) klíčili vo vertikálnych kultivačných plastových kontajneroch s rozmermi $21 \times 15,5 \text{ cm}$ (Phytotoxkit, MicroBioTests, Inc., Nazareth, Belgicko) na vrstve papierovej vaty a filtračného papiera nasiaknutej 24 ml testovaného roztoku. Kontrolou bola odstáta vodovodná voda (80 mg Ca.l^{-1} , 27 mg Mg.l^{-1} ; pH $7,3 \pm 0,05$). V každom kontajneri klíčilo 15 semien a každá koncentrácia kovu s hodnotou minimálne v troch paralelkách. Semená klíčili pri teplote $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 72 hod v tme. Na tretí deň sa zmerala dĺžka koreňov a výhonkov a probitovou analýzou /3/ sa vypočítali hodnoty 50 %-nej inhibície rastu (IC_{50}). Potom semenáčky rástli v svetelnom režime deň/noc (16/8 hod) pri teplote $24 - 27 \text{ }^\circ\text{C}$. Na siedmy deň sa z výhonkov extrahovali v 95 % (v/v) etanole (60 mg listov v 6 ml etanolu) fotosyntetické pigmenty (chlorofyl a, chlorofyl b a celkové karotenoidy), ich obsah sa stanovil spektrofotometricky pri 470, 649 a 665 nm, prepočítal sa na mg sušiny a vyjadril sa ako percento z kontroly, ktorá predstavovala 100 % /4/. Vzájomný recipročný účinok kombinácie Cd+Se(IV) na rast koreňa a výhonku *S. alba*, a hladinu fotosyntetických pigmentov sa hodnotil podľa vzorca /2/:

$$A (\%) = \frac{\text{inhibícia (Se)} + \text{inhibícia (Cd)}}{\text{inhibícia (Se + Cd)}} \times 100$$

Výsledky boli graficky spracované programom Microsoft Excel 2003.

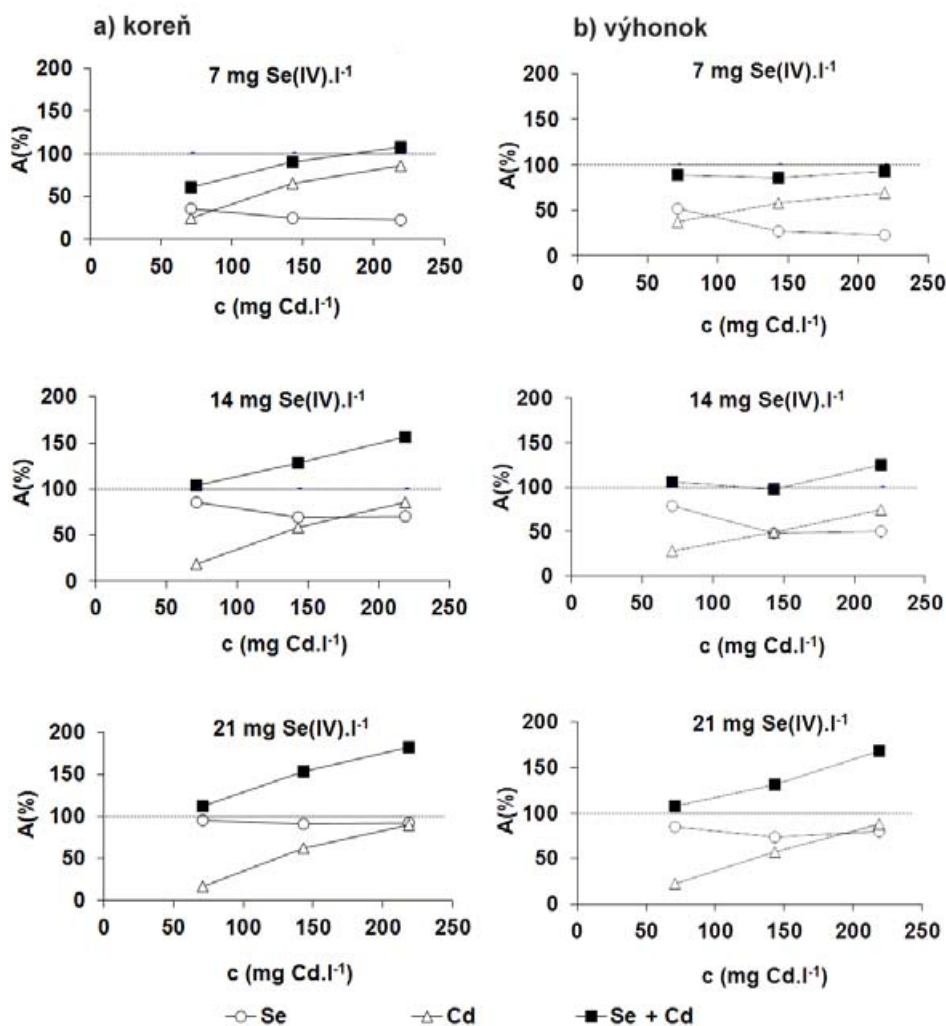
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Selén aj kadmium sú pri vyššej koncentrácii pre rastliny toxické /1, 5/. Pri hodnotení ich fyto toxického účinku sa v rámci našich experimentov ukázal z hľadiska inhibície rastu ako vysoko toxický najmä Se(IV), ktorý inhiboval rast ako koreňa tak aj výhonku testovanej rastliny na 50 % už pri koncentrácii, ktorá bola rádovo 10-krát nižšia ako pri Cd (Tab. 1). Ako pri väčšine kovov, aj Se a Cd inhibovali rast koreňa už pri približne dvojnásobne nižšej koncentrácii a ko výhonok. Na základe týchto výsledkov sme vybrali pre obidva kovy koncentrácie, ktoré zodpovedajú približne 25, 50 a 75 % inhibícii rastu koreňa a sledovali sme ich vzájomné interakčné vzťahy (účinky zmesi Se+Cd). Hodnotenými parametrami bola opäť inhibícia rastu semenáčikov (Graf 1) a produkcia jednotlivých fotosyntetických pigmentov (Tab. 2).

Kým pri hodnotení interakčných účinkov Se+Cd na rast koreňa sa vzájomný antagonistický účinok pozoroval pri kombináciách Se v koncentrácii 14 a 21 mg.l^{-1} so všetkými tromi koncentraciami Cd, pri výhonku sa takýto vzťah potvrdil len v kombináciách 14Se+21Cd (v mg.l^{-1}) a pri kombináciách Se v koncentrácii 21 mg.l^{-1} so všetkými koncentraciami Cd (Graf 1).

Tab.1: Hodnoty IC_{50} s ich 95 % intervalmi spoľahlivosti (CI) pre inhibíciu rastu koreňov a výhonkov semenáčikov *S. alba* v prítomnosti $Se(IV)$ alebo Cd

prvok	koreň	výhonok
	IC_{50} (mg.l ⁻¹) (95 % CI)	IC_{50} (mg.l ⁻¹) (95 % CI)
Se(IV)	13,7 (11,8-15,9)	25,8 (21,8-30,4)
Cd	127,6 (111,7-145,7)	207,0 (175,2-244,5)



Graf 1: Hodnotenie interakčného vzťahu $Se+Cd$ prostredníctvom inhibície rastu koreňa a výhonku semenáčikov *S. alba* (doba rastu 3 dni). Vzájomný recipročný účinok $Se+Cd$ je pre $A(\%) < 100 \%$ synergický; pre $A(\%) > 100 \%$ antagonistický.

Recipročné účinky $Se+Cd$ na fotosyntetické pigmenty sú uvedené v Tab. 2, kde sa pri všetkých kombináciách pozoroval iba antagonistický účinok, ktorého najvyššia hodnota bola v kombinácii 21Se+219Cd (v mg.l⁻¹). Cd prispievalo pri sledovaní recipročného účinku na obsah všetkých fotosyntetických pigmentov intenzívnejšie ako Se len v kombinácii 7Se+219Cd (v mg.l⁻¹). Pri hodnotení antagonistického účinku na celkové karotenoidy bol podiel Cd väčší pri kombináciách 7Se+143Cd, 14Se+143Cd a 14Se+219Cd (v mg.l⁻¹). V ostatných prípadoch sa na intenzite recipročného účinku výraznejšie podieľal Se.

Tab.2: Recipročné účinky Se a Cd na t vorbu f otosyntetických pi gmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a celkových karotenoidov). A – recipročný účinok, kde pri A >100 % predstavuje antagonistický účinok a pri A < 100 % synergický účinok.

		chlorofyl <i>a</i>			chlorofyl <i>b</i>			celkové karotenoidy		
A (Se+Cd) (%)		Cd (mg.l ⁻¹)			Cd (mg.l ⁻¹)			Cd (mg.l ⁻¹)		
		71	143	219	71	143	219	71	143	219
Se (mg.l ⁻¹)	7	123	118	129	164	160	146	103	151	120
	14	155	143	141	168	164	158	120	152	123
	21	165	175	205	212	166	210	171	173	176
A (Cd) (%)		Cd (mg.l ⁻¹)			Cd (mg.l ⁻¹)			Cd (mg.l ⁻¹)		
		71	143	219	71	143	219	71	143	219
Se (mg.l ⁻¹)	7	49	57	75	66	80	79	47	96	75
	14	47	54	68	60	74	77	44	82	65
	21	43	58	89	71	70	97	50	80	78
A (Se) (%)		Cd (mg.l ⁻¹)			Cd (mg.l ⁻¹)			Cd (mg.l ⁻¹)		
		71	143	219	71	143	219	71	143	219
Se (mg.l ⁻¹)	7	74	62	53	98	80	67	56	55	46
	14	108	89	73	108	90	81	76	69	58
	21	121	117	116	141	95	113	121	93	98

Väčšina seleničitanov zostáva v koreňoch a iba malá časť prechádza do nadzemnej časti /5/ a mobilita Cd závisí od hodnoty pH. Pozorovaný výrazný antagonistický účinok /2/ pri fotosyntetických pigmentoch môže byť spôsobený nedostatočným transportom Se a/alebo Cd do výhonkov, alebo Se môže brániť príjmu Cd z média do koreňového systému, čím sa toxický (inhibičný) účinok kovu na pigmenty neprejaví /6/. V našom prípade sa pri kombináciách s v ybranými kon centráciami obidvoch t estovaných k ovov i ch t oxický účinok znižoval. Pozorovaný antagonizmus by mohol byť v praxi v yžívaný na pr. pri znižovaní toxicity kadmia na rastliny /6/.

LITERATÚRA

- /1/ Hartikainen, H., Ekholm, P., Piironen, V., Xue, T.: Quality of the ryegrass and lettuce yields as affected by selenium fertilization. *Agricultural and Food Science Finland*, 6, 1997: 381–387.
- /2/ Wang, J., Zhang, M., Xu, J., Wang, Y.: Reciprocal effect of Cu, Cd, Zn on a kind of marine alga. *Water Research*, 29, 1995: 209–214.
- /3/ STN 83 8303: Skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekototoxicita. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín, 1999.
- /4/ Lichtenthaler, H. K., Wellburn, A. R.: Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transaction*, 603, 1983: 591–592.
- /5/ Arvy, M. P.: Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*, 44, 1993: 1083–1087.
- /6/ Lin, L., Zhou, W., Dai, H., Cao, F., Zhang, G., Feibo, W.: Selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. *Journal of Hazardous Materials*, 235-236, 2012: 343–351.

Pod'akovanie

Projekt bol realizovaný s podporou vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR VEGA 1/1139/11, VEGA 1/0083/13 a KEGA 036UK-4/2014.

AKUMULÁCIA C, N, S VO VRCHNEJ VRSTVE PÔD VÝŠKOVÉHO TRANZEKTU A V LISTOCH BUKA

Accumulation of C, N, S in the top soil layer and beech leaves along an altitudinal transect

Margita Kuklová¹, Ján Kukla¹, Helena Hniličková², František Hnilička²

¹Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, kuklova@savzv.sk

²Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 16 5 21
Praha 6 – Suchbátka, Česká republika

Summary

The paper presents the results of macronutrient contents (N_t , C_t , S_t) in soil samples (0–5 cm) and the assimilation organs of *Fagus sylvatica* L. along an altitudinal transect “Stolíky–Hliníky–Muráň” in the buffer zone of NP Slovenský raj. Content of C_t in beech leaves varied the least, higher variability was recorded for N_t , S_t and C:N proportion. Values of C_t , N_t and C:N in this species were only slightly higher than the element contents of reference plant; sulphur content was lower than background level. Within studied forest ecosystems contents of C_t and S_t varied more considerably compared with N_t and C:N ratios in soils. Absolutely highest concentrations of C_t (114 mg g^{-1}), N_t (6.48 mg g^{-1}) and S_t (0.96 mg g^{-1}) were found in skeli-humic podzol on the highest situated locality Muráň (1110 m n.m.). The average C_t and N_t contents in soils of studied geobiocoenoses were from 1.8 to 3.4-fold higher compared with reference values and showed increased deposition of carbon and nitrogen oxides from polluted air into the soils.

Key words: cambisols, podzols, Fagus sylvatica L., acidic imissions, C_t , N_t , S_t content

Súhrn

V práci sú uvedené výsledky obsahov makroživín (N_t , C_t , S_t) v pôdnych vzorkách (0–5 cm) a asimilačných orgánoch *Fagus sylvatica* L. na výškovom transekte „Stolíky–Hliníky–Muráň“ v ochrannom pásme NP Slovenský raj. V listoch buka najmenej varíoval obsah C_t , vyššiu variabilitu sme zaznamenali pre N_t , S_t a pomer C:N. Obsah C_t , N_t a C:N v listoch buka bol len o málo vyšší, ako je optimálna hodnota a obsah S_t bol nižší, ako pozadovaná hodnota. V rámci skúmaných ekosystémov boli podstatne viac rozkolísané hodnoty C_t a S_t v porovnaní s N_t a pomerom C:N v pôdach. Absolútne najvyššie koncentrácie C_t (114 mg g^{-1}), N_t ($6,48 \text{ mg g}^{-1}$) a S_t ($0,96 \text{ mg g}^{-1}$) sa zistili v podzole rankrovom na najvyššie situovanej lokalite Muráň (1110 m n.m.). Priemerné obsahy N_t a C_t v pôdach skúmaných geobiocenóz boli 1,8 až 3,4-násobne vyššie v porovnaní s referenčnými hodnotami a poukázali na zvýšenú depozíciu oxidov uhlíka a dusíka zo znečistenej atmosféry do pôdy.

Kľúčové slová: kambizeme, podzoly, Fagus sylvatica L., kyslé imisie, obsah C_t , N_t , S_t

ÚVOD

Dopad antropogénnych emisií na lesné ekosystémy je stále aktuálnym problémom vo vzťahu k acidifikácii prostredia /5/. Pôvod zakysľujúcich komponentov treba hľadať predovšetkým v emisiách oxidov síry a dusíka do atmosféry, kde v prostredí kondenzovaných kvapôčok vody dochádza k ich chemickej transformácii do formy disociovaných kyselín /4, 8/. Výskum sme situovali na monitorovacích plochách v ochrannom pásme NP Slovenský raj,

kde dominantnú úlohu zohráva kumulácia antropogénnych stresových faktorov vzniknutých činnosťou človeka, z ktorých najvýznamnejšie je znečistenie ovzdušia a kontaminovaná pôda. Rozhodujúcimi zdrojmi znečistenia ovzdušia (SO_2 , NO_x , CO , TZL) je metalurgický a nerastné suroviny spracovávajúci priemysel (Kovohuty a. s. Krompachy, závod Želba š. p. Rudňany a Finiš a. s. Spišská Nová Ves), podnikové a miestne vykurovacie systémy.

Cieľom príspevku bolo získať poznatky o obsahu vybraných makroživín (C_t , N_t , S_t) vo vrchnej vrstve pôd a asimilačných orgánoch buka (*F. sylvatica* L.) vo vybraných segmentoch lesných ekosystémov situovaných pozdĺž výškového transektu Stolíky–Hliníky–Muráň v ochrannom pásme NP Slovenský raj.

MATERIÁL A METÓDA

Podrobnejšia charakteristika výskumných plôch je uvedená v tabuľke 1.

Tab. 1: Základné a tanovištné charakteristiky na experimentálnych plochách v ochrannom pásme NP Slovenský raj

Lokalita	Stolíky		Hliníky		Muráň	
Monitorovacia plocha	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Geografické súradnice	20°30'43"E 48°53'18"N	20°30'42"E 48°53'17"N	20°32'07"E 48°51'51"N	20°32'12"E 48°51'49"N	20°28'40"E 48°52'55"N	20°28'37"E 48°52'55"N
Nadm. výška [m]	750	760	960	950	1100	1110
Vek porastu	10-15	80-100	10-15	80-100	10-15	80-100
Rastová fáza	mladina	dospelý porast	mladina	dospelý porast	mladina	dospelý porast
Lesný vegetačný stupeň	5. jedľovo-bukový		5. jedľovo-bukový		6. smrekovo-bukovo-jedľový	
Skupina lesných typov	<i>Abieti-Fageta inferiora</i>		<i>Abieti-Fageta inferiora</i>		<i>Fageta abietino-piceosa</i>	
Pôdny typ	kambizem podzolová		kambizem podzolová		podzol rankrový	
pH _{H2O} (0–5 cm)	4,8	4,5	4,0	4,8	3,4	3,4
pH _{KCl} (0–5 cm)	3,6	3,3	3,1	3,6	2,5	2,4

Výskum lesných geobiocenóz sa vykonával prostredníctvom metód geobiocenologickej školy /10/. Klasifikácia pôd sa urobila v zmysle /2/. Reprezentatívne vzorky pôd odobraté z pôdnej vrstvy 0–5 cm v júli 2013 boli vysušené na vzduchu a preosiate cez sito s veľkosťou otvorov 2×2 mm. Hodnoty a ktívnej reakcie sa stanovili potenciometricky – pomocou digitálneho pH-metra Inolab pH 720 (pomer jemnozeme k deštilovanej vode 1:2,5). Vzorky asimilačných orgánov *Fagus sylvatica* L. boli vysušené pri 80 °C počas 48 hodín a zhomogenizované achátovým mlynom firmy Fritsch (<0.001 mm). Celkový obsah N_t , C_t , S_t v pôdnych vrstvách a v sušine asimilačných orgánov buka sa stanovil pomocou NCS analyzátoru typ FLASH 1112.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah uhlíka v organo-minerálnej pôde (0–5 cm) sa pohyboval v rozmedzí 63 mg g^{-1} (760 m n.m., porast) – 114 mg g^{-1} (1110 m n.m., porast). S rastúcou nadmorskou výškou obsah C_t v pôdach stúpal. Absolútne najnižšia hodnota sa zistila v kambizemi podzlovej na lokalite Stolíky, absolútne najvyššia v podzole rankrovom na lokalite Muráň, Obr.1. Rozdiel medzi porovnávanými plochami činil približne 45%. Podľa priemerného obsahu C_t môžeme klasifikovať pôdy ako silne humózne. Akumulácia uhlíka v skúmaných pôdach bola pomerne rozkolísaná, variačný koeficient (V_x) činil 21,79% pre 10–15 ročné porasty a 32,11% pre 80–100 ročné porasty. Vzhľadom na vysokú variabilitu porovnávaných súborov pôd, priemerné hodnoty C_t v dospelých porastoch ($83,77 \pm 26,89 \text{ mg g}^{-1}$) a mladinách ($86,87 \pm 18,93 \text{ mg g}^{-1}$) kolísali len minimálne. /1/ uvádzajú priemerný obsah C_t v pôde $25,0 \text{ mg g}^{-1}$. V minerálnych vrstvách kambizemí bukových ekosystémoch porovnávali /6/ od $26,5$ do $47,9 \text{ mg g}^{-1} C_t$.

Hodnoty C_t v pôdach na vertikálnom tranzekte NP Slovenský raj boli približne o 1,8 a až 3,2-násobne vyššie v porovnaní s referenčnými hodnotami. Z Arboréta Mlyňany uvádzajú napr. /9/ nižší obsah C_t v A horizonte smrekového porastu ($14,8 \text{ mg g}^{-1}$) v porovnaní s porastom jedle ($34,4 \text{ mg g}^{-1}$). Akumulácia C_t v orgánoch buka bola pomerne vyrovnaná, V_x kolísali od 0,21% do 1,33%. Priemerné hodnoty C_t v dospelých porastoch ($483,3 \pm 6,4 \text{ mg g}^{-1}$) a mladinách ($485,0 \pm 1,0 \text{ mg g}^{-1}$) sa o dlížovali len minimálne a v porovnaní s optimálnym obsahom C_t v rastlinách podľa /7/ rozdiel činil 8,5–8,9%.

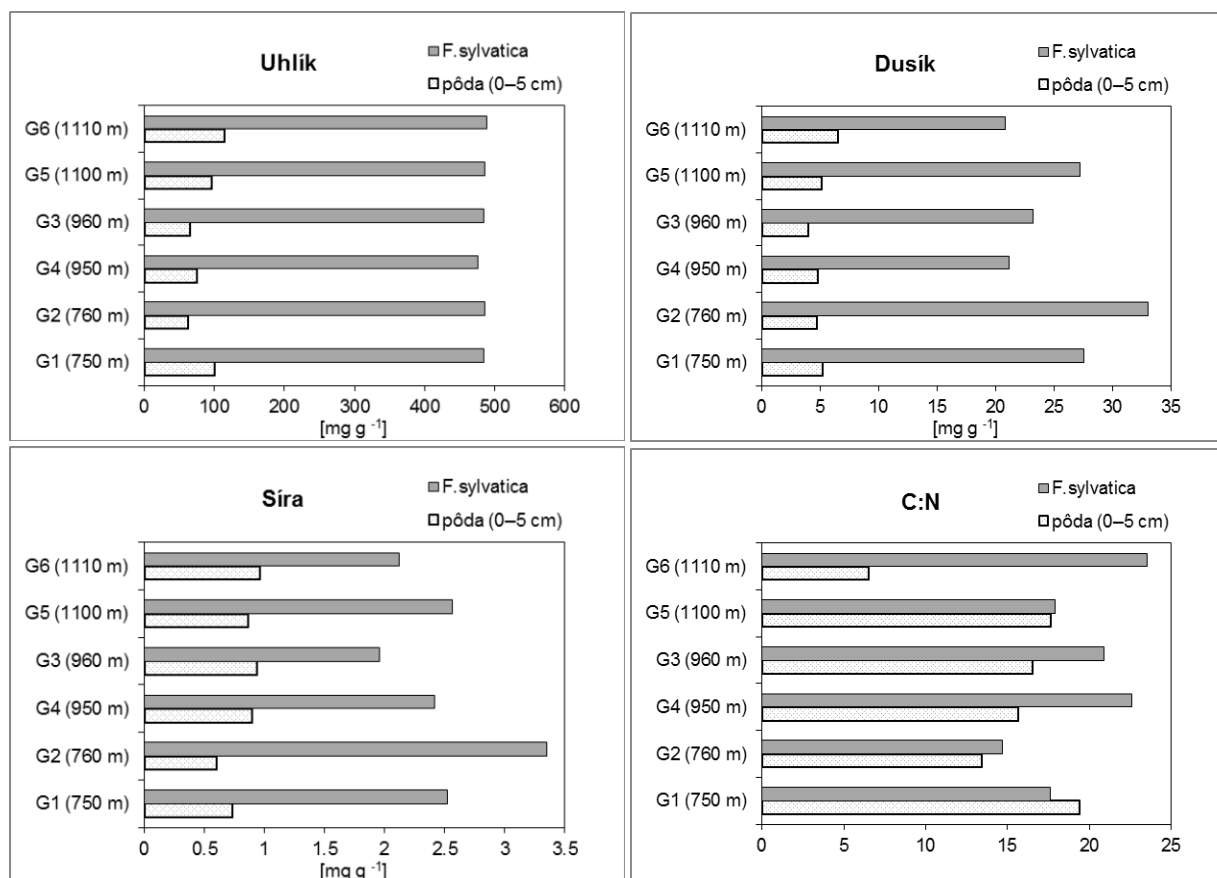
Akumulácia **dusíka** v skúmaných pôdach bola pomerne vyrovnaná, V_x činil 14,13% pre mladiny a 19,25% pre dospelé porasty. Vyššia priemerná hodnota N sa zistila v dospelých porastoch ($5,30 \pm 1,02 \text{ mg g}^{-1}$) v porovnaní s mladinami ($4,71 \pm 0,66 \text{ mg g}^{-1}$). Koncentrácia N_t v skúmaných pôdach začala narastať zhruba od výšky 960 m n.m. a najvyššiu hodnotu dosiahla vo výške 1110 m n.m. Približne od nadmorskej výšky 750 m do 960 m boli hodnoty N_t vo vzorkách pôd pomerne vyrovnané, Obr.1. /1/ uvádzajú v pôdach $2,0 \text{ mg g}^{-1}$ dusíka. Podľa /3/ v reprezentatívnych pôdnych typoch poľnohospodárskych pôd SR kolíšu priemerné hodnoty N_t v rozpätí od 0,14 do 0,27%. V pôdach skúmaných geobiocenóz boli priemerné obsahy N_t 2,3 až 3-násobne vyššie v kambizemiach a 1,9 až 2,4-násobne vyššie v podzoloch, ako sú uvádzané referenčné hodnoty. Akumulácia N_t v listoch buka bola vyrovnanejšia v mladinách ($V_x = 9,24\%$), vyššia variabilita sa zistila v dospelých porastoch ($V_x = 27,87\%$). Avšak vzhľadom na vysokú variabilitu hodnôt sa priemerné hodnoty N_t v porovnávaných skupinách porastov ($24,97 \pm 6,96 \text{ mg g}^{-1}$; $25,97 \pm 2,40 \text{ mg g}^{-1}$) o dlížovali len minimálne. Obsah N_t zistený v listoch buka cez výškový tranzekt bol porovnateľný s obsahom N_t v rastlinách, ktorý uvádza /7/.

Podľa nameraných pH hodnôt bola pôda na tranzekte Stolíky-Hliníky veľmi silne kyslá ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4,0 – 4,8), na lokalite Muráň extrémne kyslá ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 3,4), Tab.1. Pomer C:N v skúmaných pôdach bol vyrovnanejší v mladinách ($V_x = 8,21\%$), oproti hodnotám zisteným v dospelých porastoch ($V_x = 13,52\%$). Priemerné hodnoty C:N v dospelých ($15,53 \pm 2,10 \text{ mg g}^{-1}$) a mladých porastoch ($17,83 \pm 1,46 \text{ mg g}^{-1}$) sa líšili len minimálne. Pomer C:N vo vzorkách pôd bol absolútne najvyšší (19,4) na najnižšie situovanej lokalite Stolíky (kambizem podzolová) a cca 3-násobne nižší pomer C:N a tým aj veľmi vysoká zásobenosť N boli pozorované v podzole rankrovom na najvyššie situovanej lokalite Muráň. Na ostatných plochách hodnoty C:N kolísali od 13,4 do 17,6, Obr.1. V Arboréte Mlyňany zistili /9/ nižší pomer C:N v A horizonte rovného porastu (6,6) v porovnaní s porastmi rôznych druhov drevín (jedľa 9,1 < smrek 9,8 < dub 14,5). Pomer C:N v listoch buka bol viac rozkolísaný v dospelých porastoch ($V_x = 23,89\%$) v porovnaní s mladými porastmi ($V_x = 9,71\%$). Vzhľadom na vysokú variabilitu porovnávaných súborov, priemerné hodnoty C:N v dospelých porastoch ($20,27 \pm 4,84 \text{ mg g}^{-1}$) a mladinách ($18,80 \pm 1,826 \text{ mg g}^{-1}$) kolísali len minimálne. Pomer C/N významne ovplyvňuje rýchlosť rozkladu organickej hmoty. Podľa /7/ optimálny pomer C/N v rastlinách predstavuje hodnotu 17,8. V listoch buka cez výškový tranzekt Stolíky-Hliníky-Muráň sa zistil vyšší pomer C:N o 6 až 14% ako je uvádzaná referenčná hodnota.

Koncentrácia **síry** v pôdach vo väčšine prípadov narastala so stúpajúcou nadmorskou výškou. Absolútne najnižšia hodnota sa zistila v kambizemi podzolivej na lokalite Stolíky, absolútne najvyššia v podzole rankrovom na lokalite Muráň, Obr.1.

Podľa /1/ celkový obsah S v pôdach dosahuje v priemere 0,1 – 5,0 mg g^{-1} a závisí najmä od pôdneho druhu a typu, obsahu humusu, charakteru antropickej činnosti a ďalších faktorov. V pôdach skúmaných geobiocenóz celkový obsah S z vyššie uvedeného rozpätia nevybočoval. Obsah síry v skúmaných pôdach bol vyrovnanejší v mladinách ($V_x = 12,08\%$), rozkolísanejšie boli na merané hodnoty v dospelých porastoch ($V_x = 23,37\%$). Vzhľadom na vyššiu variabilitu porovnávaných súborov, priemerné hodnoty S_t v dospelých porastoch ($0,82 \pm 0,19 \text{ mg g}^{-1}$) a mladinách ($0,84 \pm 0,10 \text{ mg g}^{-1}$) sa líšili len minimálne. V listoch buka bola akumulácia S vyrovnanejšia v mladinách ($V_x = 14,29\%$), vyššia variabilita sa zistila

v dospelých por astoch ($V_x = 24,38\%$). Priemerné hodnot y S_t v porovnávaných s kupinách porastov ($2,35 \pm 0,33 \text{ mg g}^{-1}$; $r \text{ esp. } 2,63 \pm 0,64 \text{ mg g}^{-1}$) k olísali le n minimálne. O bsah síry v listoch buka c ez v ýškový t ranzekt bol v porovnaní s prirodzeným obs ahom S_t v rastlinách podľa /7/ nižší približne o 12 až 22%.



Obr. 1: Variabilita obsahov C_t , N_t , S_t a pomer $C:N$ v pôdach a listoch buka pozdĺž výškového tranzektu.

Poznanie kolobehov chemických elementov umožňuje objektívne posúdiť intenzitu vplyvu zakysľujúcich komponentov v lesných porastoch. Asimilačné orgány buka obsahovali viac C_t a N_t v mladinách, obsah S_t bol v yšší v dospelých por astoch. Z chemických analýz povrchových horizontov pôd v yplynulo, že v yššie priemerné obsahy C_t a S_t sa z istili v mladinách, obsah N_t ukázal v yššiu priemernú hodnotu v dospelých por astoch. Priemerné obsahy N_t vo vzorkách pôdboli 2,3 až 3-násobne vyššie v kambizemiach a 1,9 až 2,4-násobne vyššie v podzoloch v porovnaní s referenčnou hodnotou. Hodnoty C_t v pôdach boli až 3,4-násobne vyššie, ako je uvádzaná požadovaná hodnota. Vyššie koncentrácie C_t a N_t v pôdach skúmaných ekosystémov poukávajú na zvýšenie pozície oxidov uhlíka a dusíka zo znečistenej atmosféry do pôdy.

LITERATÚRA

- /1/ Barančíková, G., Fazekašová, D., Manko, P., Torma, S. 2009. Chemia životného prostredia. Prešovská univerzita v Prešove: 255.
- /2/ Bedrna, Z., Bublinec, E., Čurlík, J., Fulajtár, E., Gregor, J., Hanes, J., Juráni, B., Kukla, J., Račko, J., Sobocká, J., Šurina, B. 2000. Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava: 76.
- /3/ Bielek, P. 1998. Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti. Bratislava: 250.

- /4/ Janík, R., Bublinec, E., Dubová, M. 2013. The SO_4^{2-} concentration and sulphur content in lysimetric water and throughfall in beech forest stands in the Štiavnické vrchy Mts. *Ekológia* (Bratislava), 32: 30–28.
- /5/ Kuklová, M., Kukla, J. 2008. Accumulation of macronutrients in soils and some herb species of spruce ecosystems. *Cereal Research Communications*, 36 (Suppl.): 1319–1322.
- /6/ Kuklová, M., Kukla, J., Sýkora, A. 2011. Andrej. Obsah C_t a N_t v pôde a v nadzemnej časti druhu *Dentaria bulbifera* L. v imisne ovplyvnených bukových ekosystémoch. In: Bláha, L., Hnilička, F. (red.): Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha - Ruzyně, Česká zemědělská univerzita v Praze: 297.
- /7/ Markert, B. 1995. Instrumental multielement analysis in plant materials: a modern method in environmental chemistry and tropical systems research. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, Série Tecnologia Ambiental: 32.
- /8/ Mindáš, J. 2006. Characteristics of the precipitation and soil water quality in the mature mixed forest stand (fir-spruce-beech) of midmountain region Poľana – II. base cations. *Lesnícky Časopis – Forestry Journal*, 52: 159–173.
- /9/ Polláková, N., Konôpková, J. 2012. Vlastnosti pôdy pod vybranými domácimi a introdukovanými druhmi drevín v Arboréte Mlyňnany. SPU Nitra: 88.
- /10/ Zlatník, A. 1976. *Lesnická fytoecologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha: 495.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV (projekt č. 2/0027/13) a S projektom ude leným Ministerstvom školstva, mládeže a telovýchovy Českej republiky.

METODIKA HODNOTENIA KOREŇOVÉHO SYSTÉMU DREVÍN V JUVENILNEJ FÁZE RASTU SOFTVÉROM WINRHIZO

METHODOLOGY OF THE ROOT SYSTEM ASSESSMENT OF WOODY PLANTS USING SOFTWARE WINRHIZO

Viera Paganová¹, Zuzana Jureková²

¹Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Tulipánová 7, 949 76, Nitra, Slovenská republika, viera.paganova@uniag.sk

²Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Mariánska 10, 949 76, Nitra, Slovenská republika, zuzana.jurekova@uniag.sk

Summary

The paper is devoted to the analysis of the root system of two species of the indigenous flora *Sorbus domestica* and *Pyrus pyraster*. The juvenile plants were grown in the special boxes under conditions of differentiated water regime. The analysis of several root parameters: length, surface, volume and thickness were done by analytical software WinRhizo. Quantitative data pointed to the interspecific differences between woody plants already in the juvenile growth stage. The applied method has also allowed to obtain data about different responses of the experimental plants to soil water scarcity. Impact of the water scarcity is reflected by length of the roots, size of the root surface and root volume. Plants under drought conditions created thicker and shorter roots. *Pyrus pyraster* in comparison to *Sorbus domestica* has confirmed greater plasticity and several morphological and functional adaptations to drought factor.

Key words: woody plants, root system, drought, WinRhizo

Súhrn

Príspevok je venovaný analýze koreňového systému dvoch druhov autochtónnej flóry *Sorbus domestica* a *Pyrus pyraster*. V juvenilnej fáze rastu boli dreviny pestované v špeciálnych koreňových boxoch v diferencovanom vodnom režime. Analytickým softvérom WinRhizo sa kvantifikovali viaceré parametre koreňa: dĺžka, povrch, objem a hrúbka. Kvantifikované údaje z analýzy koreňov poukázali na medzidruhové rozdiely drevín, ktoré sa prejavili už v juvenilnej fáze rastu. Metóda umožnila získať údaje aj o rozdielnych reakciách experimentálnych drevín na nedostatok vody v pôde. Negatívny vplyv nedostatku vody sa prejavil na dĺžke koreňa, povrchu koreňového systému a objeme koreňov. V podmienkach sucha tvorili rastliny hrubšie a kratšie korene. U *Pyrus pyraster* sme v porovnaní so *Sorbus domestica* potvrdili väčšiu plasticitu a viacero morfológických a funkčných adaptácií k faktoru sucha.

Kľúčové slová: dreviny, koreňový systém, sucho, WinRhizo

ÚVOD

Koreňový systém vyšších rastlín je orgánom, ktorého štruktúra a architektúra je výsledkom interakcie genotypu a environmentálnych podmienok. Lokalizácia koreňa v pôde a rozmanitosť faktorov, ktoré ovplyvňujú jeho funkcie ho aj napriek jeho významu radí medzi orgány, ktoré sú študované málo a s veľkými metodickými ťažkosťami. Ako prvá sa ponúka

otázka, ktoré parametre koreňa je potrebné merať, ak hľadáme jeho odpoveď na environmentálny stres, napr. sucho.

Za dobré indikátory environmentálnych (stresových) podmienok považujú autori /1/ dĺžku a hrúbku koreňa, denzitu a objem koreňa. Zohľadňujú sa tiež anatomické hľadiská (delenie a predlžovanie buniek) a vlastnosti vodného systému /2/. Kvantifikácia týchto parametrov však často naráža na problém, ako extrahovať korene z pôdy, aby sa nenarušila ich integrita. Tento problém je možné úspešne riešiť u juvenilných rastlín pestovaných v tzv. koreňových boxoch (Obr. 1) s výsuvnou stenou, čo umožňuje vyňatie rastliny (s intaktným koreňom) zo substrátu. Prednosťou tohto postupu je aj možnosť štúdia vplyvu stresových faktorov, akým je sucho, deficit, alebo nadbytok prvkov minerálnej výživy, vplyv toxických kovov a pod..

Zamerali sme sa na hodnotenie parametrov koreňa v juvenilnej fáze rastu pri dvoch druhoch, ktoré sú súčasťou autochtónnej flóry Slovenska – hrušky planej (*Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd.) a jarabiny oskorušovej (*Sorbus domestica* L.). Tieto druhy sa u nás prirodzene vyskytujú aj na xerothermných typoch stanovišť /4, 5/ v podmienkach s negatívnou vodnou bilanciou a predpokladáme u nich dobrú adaptabilitu na sucho. Dlhodobosť a veľkosť možnosti ich použitia pre výsadbu v urbanizovanom prostredí a krajine na stanovištiach s nedostatkom vody a obmedzeným priestorom pre rast koreňov.

MATERIÁL A METODIKA

Rastlinný materiál pre experimenty pochádza z pôvodných lokalít (Tab1) záujmových drevín na Slovensku. Tieto lokality podmienkami prostredia reprezentujú obvyklé stanovišťa hodnotených taxónov (*Pyrus pyraeaster* a *Sorbus domestica*). Početnosť populácie dospelých plodiacich jedincov na oboch lokalitách umožnila sústrediť biologicky kvalitnú vzorku reprodukčného materiálu.

Tab. 1: Klimogeografická charakteristika lokalít záujmových druhov /3/

	Lokalita	Nadmorská výška (m)	Expozícia	TI. (°C)	TVII (°C)	úhrn zrážok (mm)	Typ	Subtyp
<i>Pyrus pyraeaster</i>	Slatinka	350	JV	-2	18	700	T	T7
<i>Sorbus domestica</i>	Kosihovce	250	1-JV	-2	19	600	T	T4

TI. – priemerná teplota v januári, TVII. – priemerná teplota v júli, T – teplá oblasť, T4 teplý, mierne suchý s miernou zimou, T7 – teplý, mierne vlhký s chladnou zimou

Semená sa z plodov extrahovali hneď po zbere. Po vyčistení sa krátko skladovali a upravili v rámci predsejbovej prípravy studenou stratifikáciou pri teplotách -5°C až +5°C. Klíčili v nádobách s výsevným substrátom na báze rašeliny. V fenologickej rastovej fáze rozvinuté klíčne listy /9/ sa semenáčky umiestnili do koreňových boxov s výsevným substrátom obohateným o živiny (rašelina, pH5.5-6.5, hnojivo 1,0kg.m⁻³).

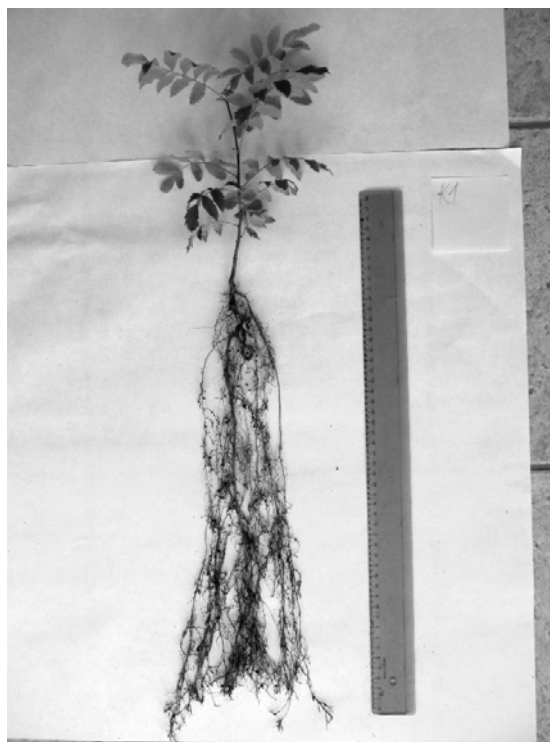
Kovové koreňové boxy sú špeciálne skonštruované tak, aby umožnili analýzu rastu koreňa a štruktúry koreňového systému semenáčikov. Majú výsuvnú prednú stenu, čo uľahčuje vyňatie rastlín pre účely ďalšej analýzy (Obr. 1).

Koreňové boxy so semenáčikmi sa umiestnili pod polyetylénový kryt so 60% tienением a rastliny boli udržiavané v diferencovanom vodnom režime s dvomi variantmi na sýtenia substrátu na 40% a 60% plnej vodnej kapacity. Variant „Stres“ bol zavlažovaný na 40% plnej vodnej kapacity a variant „Kontrola“ na 60% plnej vodnej kapacity. Model diferencovaného vodného režimu bol udržiavaný po dobu 170 dní (apríl až september 2013).

Na konci experimentálnej periódy sa rastliny vybrali z koreňových boxov. Koreňový systém semenáčikov sa zo substrátu extrahoval manuálne, prepieraním vo vodnom kúpeli s cieľom zachovať celistvé štruktúry koreňa (Obr. 2).



Obr. 1: Semenáček *Sorbus domestica* L. pootvoreni koreňového boxu s výraznými štruktúrami koreňa v substráte.



Obr. 2: *Sorbus domestica* L. (kontrola) v juvenilnej fáze rastu investuje najmä do rastu koreňa.

V obidvoch variantoch s rôznou úrovňou nasýtenia substrátu sa pri každom teste analyzovalo po 10 rastlín. Pri analytickom spracovaní rastlinného materiálu s oftvérom WinRhizo sa hodnotil vplyv odlišnej úrovne nasýtenia substrátu na vybrané parametre koreňa (dĺžku, povrch, objem, hrúbku) ako aj podiel rôznych frakcií koreňov podľa hrúbky v rámci koreňového systému jedinca. Systém WinRhizo REG 2009 (Regent Instruments, Kanada, SK0410192) na základe analýzy obrazu koreňového systému umožňuje hodnotenie jeho morfológie, topológie a architektúry. Analyzujú sa umyté korene zbavené substrátu. Údaje z hodnotenia príslušnej vzorky sú zobrazené graficky a pre ďalšie spracovanie aj v dátových súboroch.

Matematicko-štatistická analýza dát bola vykonaná Softvérom Statgraphics Centurion XV (StatPoint Technologies, USA, XV (licenčné číslo: 7805000000722)).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Koreňový systém jednoročných semenáčikov oboch záujmových drevín sa po vyňatí z koreňových boxov a šetrnom zbavení substrátu analyzoval s oftvérom WinRhizo, ktorý umožňuje priame snímanie dĺžky koreňov, hrúbky koreňov a prepočet povrchu a objemu koreňového systému analyzovanej rastliny. Pri prepočte je eliminované vzájomné prekrývanie koreňov a drobné nečistoty zo substrátu.

Viacfaktorovou analýzou rozptylu sa vyhodnotila preukaznosť rozdielov v parametroch koreňa pri hruške planej (*Pyrus pyraeaster*) a jarabine oskorušovej (*Sorbus domestica*), ako aj vo variantoch s odlišnou úrovňou nasýtenia substrátu (stres a kontrola). Cieľom bolo získať informácie o vplyve sucha na rast podzemných orgánov drevín a prípadných morfológických adaptáciách na sucho. Parametre zisťované priamym meraním boli podrobené testu normality (Shapiro-Wilkov test na hladine významnosti $\alpha = 0,001$) a testu homogenity odcýlok (Levenov test na hladine významnosti $\alpha = 0,05$). Všetky hodnotené parametre majú normálne rozdelenie dát a spĺňajú predpoklad homogenity.

Výsledky analýzy rozptylu pre väčšinu snímaných parametrov koreňa umožnili zamietnuť hypotézu rovnosti priemerných hodnôt. Preukazné rozdiely medzi hruškou planou (*Pyrus pyraeaster*) a jarabinou oskorošovou (*Sorbus domestica*) sa identifikovali v dĺžke koreňa ANOVA(F(1,35)=12,09, p=0,0014), vo veľkosti povrchu koreňa ANOVA(F(1,35)=11,59, p=0,0017), v objeme koreňového systému ANOVA (F(1,35)=6,59, p= 0,0147. N ulová hypotéza je prijatá len pre parameter hrúbka koreňa (Tab. 2). Výsledky dokumentujú aj preukazné rozdiely vo všetkých hodnotených parametroch koreňa (dĺžka, povrch, objem a hrúbka) medzi variantmi s odlišnou úrovňou nasýtenia substrátu.

Podrobnejšie výsledky kvantitatívnej analýzy dát dokumentuje viacnásobné porovnanie priemerov, pri ktorom sa kvôli nerovnakému počtu pozorovaní (18 a 20) na miesto T ukey testu použil Bonferroniho test (Tab. 3).

Tab. 2: Výsledky viacfaktorovej analýzy rozptylu pre vybrané parametre koreňa jednoročných semenáčikov *Pyrus pyraeaster* a *Sorbus domestica* v diferencovanom vodnom režime pri 40% a 60% nasýtení substrátu vodou

Parametre	Dĺžka koreňa		Povrch koreňa		Objem koreňa		Hrúbka koreňa	
	F-hodnota	p-hodnota	F-hodnota	p-hodnota	F-hodnota	p-hodnota	F-hodnota	p-hodnota
Nasýtenie substrátu	16,12	0,0003**	12,04	0,0014**	8,32	0,0067*	7,46	0,0098*
Taxón	12,09	0,0014**	11,59	0,0017**	6,59	0,0147*	0,05	0,8188 n.s.

Tab. 3: Priemerné hodnoty parametrov koreňa a výsledky Bonferroniho testu na 95% hladine významnosti pre hodnotené taxóny (*Pyrus pyraeaster*/*Sorbus domestica*) a podľa úrovne nasýtenia substrátu (Kontrola/Stres). Hodnoty s odlišným písmenom sú štatisticky preukazne rozdielne.

Parametre	N (ks)	Dĺžka koreňa (mm)	Povrch koreňa (mm ²)	Objem koreňa (mm ³)	Hrúbka koreňa (mm)
<i>Pyrus pyraeaster</i>	20	7372,65 A	11500,6 A	5343,10 A	0,594843 A
<i>Sorbus domestica</i>	18	15136,00 B	23902,7 B	9892,22 B	0,601034 A
Kontrola	20	15739,40 B	24022,8 B	10173,70 B	0,561322 A
Stres	18	6724,22 A	11380,5 a	5061,70 A	0,634555 B

Semenáčky *Sorbus domestica* majú v porovnaní s *Pyrus pyraeaster* (Tab.3) preukazne dlhšie korene (15136 mm), väčší povrch (23902,7 mm²) aj objem koreňového systému (9892,2 mm³). Nedostatok vody sa negatívne prejavil na predĺžovaní koreňov v juvenilnej fáze rastu drevín. Vo variante „stres“ mali semenáčky výrazne redukovanú dĺžku koreňa (6724,22mm) oproti kontrole (15739,40mm). Preukazne nižšie hodnoty oproti kontrole sa vo variante „stres“ zaznamenali aj v parametroch povrch koreňa (11380,50 mm²) a objem koreňového systému (5061,70 mm³). Pod vplyvom nedostatku vody sa formovali semenáčky preukazne hrubšie korene (0,64 mm) než v kontrolnom variante (0,56 mm). Potvrdilo sa, že parametre koreňa, ktoré uvádza /1/ sú vhodné aj pre kvantifikáciu účinkov nedostatku vody v pôde.

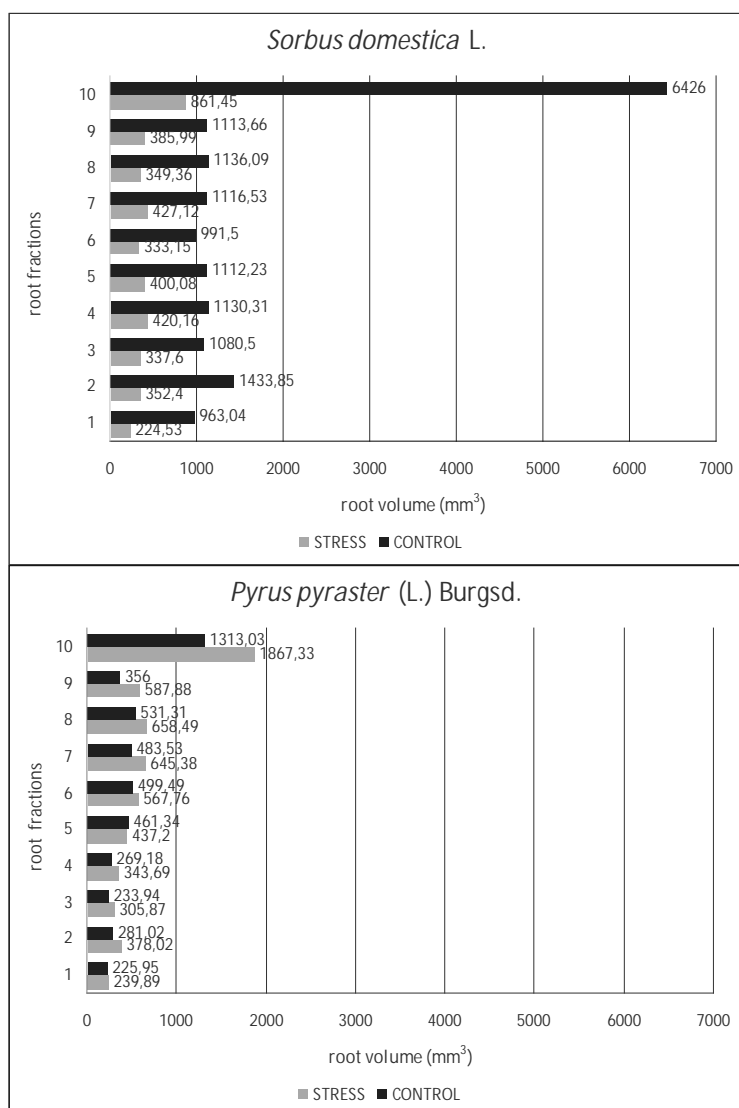
Zaujímavé je detailné porovnanie akumulácie objemu koreňového systému v rôznych frakciách hrúbky koreňa pre oba varianty nasýtenia substrátu. Je spracované na základe dátových súborov softvéru Win Rhizo do samostatných grafov (Obr. 3) pre *Sorbus domestica* aj *Pyrus pyraeaster*.

V kontrolnom variante mala oskoroša vo všetkých frakciách hrúbkových tried koreňa evidentne vyšší objem hmoty koreňov ako hruška. Semenáčky oskoroše v priebehu vegetačného obdobia investovali najmä do akumulácie hmoty koreňov. Toto zistenie korešponduje s našimi predchádzajúcimi výsledkami / 6/ ktoré dokumentujú, že *Sorbus domestica* prednostne distribuuje suchú hmotu do koreňov (S:R = 0,70).

Nedostatok vody sa pri *Sorbus domestica* prejavil výraznou redukciou objemu koreňov, a to v priemere o 75% oproti kontrole. V prípade kontroly priemerná hodnota objemu koreňov *Sorbus domestica* predstavuje 1650 mm³, vo variante s 40% plnou vodnou kapacitou 409 mm³. Oskoruša v juvenilnej fáze rastu vytvorila väčší objem koreňov ako hruška, ale sucho malo negatívny vplyv na objem jej koreňového systému.

Hruška mala v kontrolnej variante menší objem koreňov (4654 mm³) ako vo variante s 40% plnou vodnou kapacitou (6031 mm³). Na nedostatok vody reagovali semenáčky *Pyrus pyraeaster* tvorbou hrubších koreňov. Vplyv sucha na dĺžku koreňov nebol taký výrazný ako pri oskoruši, čo pravdepodobne ovplyvnilo celkovo vyšší objem koreňového systému semenáčikov vo variante s nižšou úrovňou nasýtenia substrátu. Potvrdila sa genotypová variabilita a fenotypová plasticita koreňov (*Fagus sylvatica* L.) na suchu [4]. V podmienkach na vodeného sucha (minirizotróf) zistili zníženie hodnôt špecifickej rýchlosti prídavného rastu koreňa, menší priemer koreňov a nižšie hodnoty špecifickej rýchlosti prídavného rastu v porovnaní s kontrolnými rastlinami.

Naše výsledky poukazujú na fyziologické a morfológické rozdiely v charakteristikách reakcií skúmaných taxónov na podmienky sucha, ktoré môžu byť podmienené ich rozdielnou fenotypovou plasticitou, ako to potvrdili iní autori [8, 1].



Obr. 3: Rozdelenie objemu koreňového systému *Sorbus domestica* a *Pyrus pyraeaster* do hrúbkových frakcií koreňov v dvoch variantoch nasýtenia substrátu (Stres – 40% plnej vodnej kapacity, Kontrola – 60% plnej vodnej kapacity). Koreňové frakcie podľa hrúbky koreňa

(mm) 1 = 0,0–0,5, 2 = 0,5–1,0, 3 = 1,0–1,5, 4 = 1,5–2,0, 5 = 2,0–2,5, 6 = 2,5–3, 7 = 3,0–3,5, 8 = 3,5–4,0, 9 = 4,0–4,5, 10 > 4,5.

System WinRhizo 2009 na základe analýzy obrazu koreňového systému umožňuje hodnotenie jeho morfológie, topológie a architektúry. Softvér eliminuje prekrytie koreňov. Priamo sníma dĺžku koreňa a hrúbku koreňa, ďalšie parametre (povrch a objem koreňov) sú získané analytickým prepočtom. Uvedené charakteristiky koreňov sú v literatúre považované za vhodné indikátory odpovede rastlín na nedostatok vody v pôde.

Kvantifikované údaje z analýzy koreňov poukázali na medzidruhové rozdiely drevín už v juvenilnej fáze rastu. Metóda umožnila získať údaje o rozdielnych reakciách experimentálnych drevín na nedostatok vody v pôde. Negatívny vplyv nedostatku vody sa prejavil na dĺžke koreňa, povrchu koreňového systému a objeme koreňov. Rastliny v podmienkach sucha tvorili hrubšie a kratšie korene.

LITERATÚRA

- /1/ Callaway, R.M., Pennings, S.C., Richards, C.L. Phenotypic plasticity and interactions among plants. *Ecology* 84, 2003 : 1115–1128.
- Dorlodot, S., Forster, B., Pagès, L., Price, A., Tuberosa, R., Dreyer, X. : 2007 Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. *Trends in Plant Science*, 12, 2007: 474–481. doi:10.1016/j.tplants.2007.08.012
- /2/ Nicotra, A.B., Babička, N., Westoby, M. : Seedling root anatomy and morphology: an examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. *Oecologia* 130, 2002: 136–145.
- /3/ Lapin, M., Faško, P., Melo, M., Šťastný, P., Tomlain, J.: Klimatické oblasti. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky. 1. vyd. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica: 344. ISBN 80-88833-27-2.
- /4/ Meier, I.C., Leuschner, Ch.: Genotypic variation and phenotypic plasticity in the drought response of fine roots of European beech. *Tree Physiology*, 28, 2008: 297–309.
- /5/ Paganová, V. : Wild pear *Pyrus pyraster* (L.) Burgsd. requirements on environmental conditions. *Ekológia*, Bratislava, 23, 2003: 255–241.
- /6/ Paganová, V.: Ecology and distribution of service tree *Sorbus domestica* (L.) in Slovakia. *Ekológia*, Bratislava, 27, 2008: 152–168.
- /7/ Paganová, V., Jureková, Z.: Woody Plants in Landscape Planning and Landscape Design. In: Ozyavuz, M. (ed.): *Landscape Planning*. Intech, 2012. ISBN 978-953-51-0654-8. DOI: 10.5772/48065. Available from: <http://www.intechopen.com/books/landscape-planning/woody-plants-in-landscape-planning-and-landscape-design>
- /8/ Pregitzer, K.S., Hendrick, R.L., Fogel, R.: The demography of fine roots in response to patches of water and nitrogen. *New Phytol.* 125, 1993: 575–580.
- /9/ Šeňel, R., Paganová, V. : Identification key of the wild pear (*Pyrus pyraster* L. Burgsd.) – phenological stages and potential for application in research and practice. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 13, Spec. issue, 2010: 21–23. ISSN 1335-2563.

Pod'akovanie

Prezentované výsledky boli získané s finančnou podporou projektov VEGA 1/0246/13 Stratégie využitia v ody xerofytnými drevinami a bylinami v urbanizovanom prostredí a krajine VEGA 1/1220/12 Modelovanie rastu energetických bylín pestovaných v klimatických podmienkach južného Slovenska.

MIKROKLÍMA SÍDLISKA CHRENOVÁ 1 V NITRE

MIKROCLIMATE OF RESIDENTIAL AREA CHRENOVA 1 IN THE CITY OF NITRA

Katarína Bahnová¹, Zdenka Rózová²

¹Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Katedra ekológie a environmentalistiky, Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovenská republika, katarina.bahnova@ukf.sk

²Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Katedra ekológie a environmentalistiky, Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovenská republika, z.rozova@ukf.sk

Summary

In this study we focused on evaluation of microclimatic function of vegetation areas depending on the vegetation structure. The field research was accomplished in summer time June-August 2013 in the residential area Chrenova 1. We were monitoring the surface temperature in 6 localities by using the touch probe. In monitoring points, vegetation area and hard surface, we were monitoring the surface temperature by using the method of surface thermal monitoring in time of positive energy balance – at the noon. The values of surface temperature were compared and statistically evaluated depending on localities in both measurement points.

Key words: microclimate, vegetation area, hard surface, surface temperature

Súhrn

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na hodnotenie mikroklimatickej funkcie vegetačných plôch v závislosti od štruktúry porastu. Terénne merania sme realizovali v letnej sezóne jún–august 2013 na sídlisku Chrenová 1 v Nitre. Sledovali sme mikroklimatický faktor-teplotu povrchu, na šiestich lokalitách pomocou dotykovej sondy. V meraných bodoch vegetačná plocha a spevnená plocha sme teplotu povrchu sledovali metódou pozitívnej termálnej monitoringu v čase pozitívnej energetickej bilancie – na poludnie. Namerané hodnoty teploty povrchu sme porovnali v závislosti od lokalít v oboch meraných bodoch a štatisticky vyhodnotili.

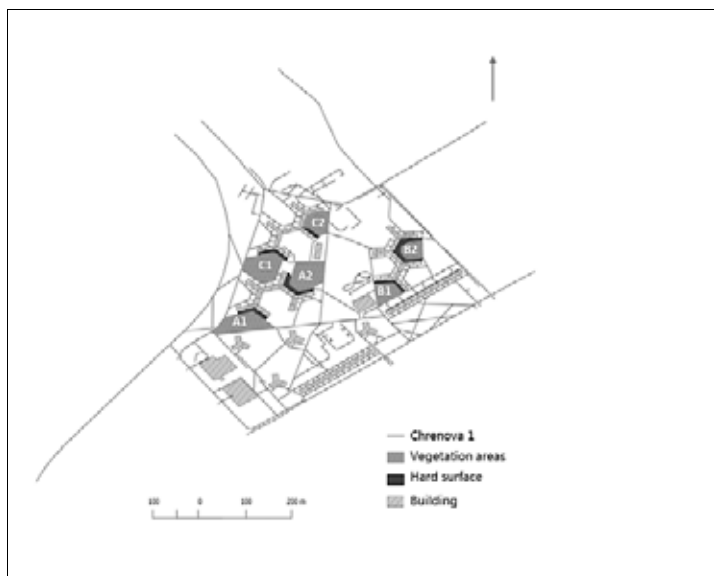
Kľúčové slová: mikroklima, vegetačná plocha, spevnená plocha, teplota povrchu

ÚVOD

Urbanizované prostredie predstavuje špecifický krajinný typ, ktorý vznikol postupnou činnosťou človeka /6/. Na kvalitatívne a kvantitatívne zmeny mestského prostredia je priamo viazaná mestská sídelná vegetácia. Podľa viacerých autorov sú významnými funkciami vegetácie: mikroklimatická, izolačná (ochranná), architektonická, estetická, sociálna (spoločenská) a melioračná / 5/, / 1/, / 2/. V predkladanom príspevku sme sa zamerali na schopnosť vegetácie plniť mikroklimatickú funkciu v prostredí sídliskovej zástavby mesta Nitra. Mikroklima je najčastejšie formovaná homogénnym aktívnym povrchom. Práve aktívny povrch, na ktorom prebieha premena slnečnej energie na tepelnú je hlavným mikroklimatotvorným činiteľom /4/. Vo formovaní mikroklimy a tepelného komfortu hrá významnú úlohu vegetácia. Jej povrchová teplota ovplyvňuje tepelnú bilanciu prostredníctvom sálavých výmen / 3/. Mestské prostredie je charakteristické najmä s pevným povrchom, typickou urbánnou geometriou, prítomnosťou vegetačných plôch a variabilitou povrchových materiálov. Tieto faktory spoločne formujú a ovplyvňujú mikroklima na lokálnej úrovni /7/.

MATERIÁL A METÓDA

Terénny výskum sme realizovali na sídlisku Chrenová 1. Vybranými lokalitami meraní boli 3 bytové komplexy A, B, C. V bytovom komplexe A sme sledovali vybrané lokality A1, A2 (Mapa 1). V komplexe B, lokality B1, B2 (Mapa 1), v komplexe C, lokality C1, C2 (Mapa 1). Na všetkých sledovaných lokalitách (A1, A2, B1, B2, C1, C2) sa nachádza vegetačná plocha, spevnená plocha (cestná komunikácia) a bytový dom. V letnej sezóne jún-august 2013 sme realizovali merania pomocou termometru TSI V eloci C ale 9 565 – P, metódou pozemného termálneho monitoringu, 8 dní mesiaci v čase na poludnie – 12:30. Sledovali sme mikroklimatický faktor – teplota povrchu [$^{\circ}\text{C}$].



Mapa 1: Sídlisko Chrenová 1.

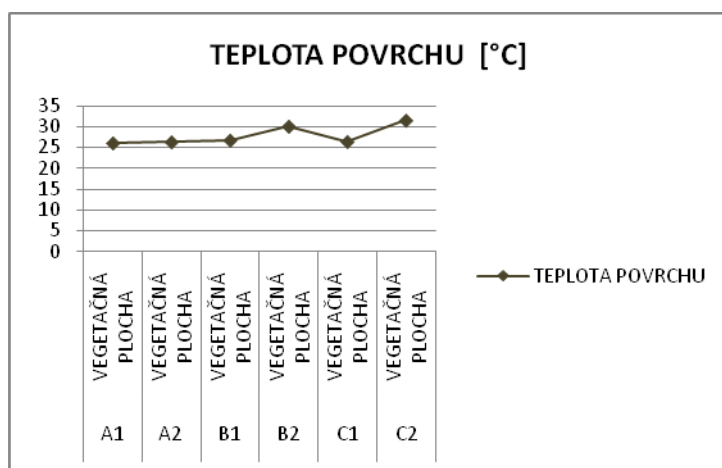
VÝSLEDKY

Rozdiely v teplote povrchu pre merané body vegetačná plocha a spevnená plocha v čase na poludnie v letnej sezóne jún–august 2013 sme štatisticky vypočetili s použitím ANOVA a Tukey HSD testu v programe Statistica 7. Porovnali sme medzi sebou jednotlivé lokality v oboch meraných bodoch. V zástavbe sídliskového typu je určujúca variabilita aktívnych povrchov – spevnené plochy (cestné komunikácie, budovy), vegetačné plochy. V významnom a tribútom v ybraných vegetačných plochách je ich rozdielna štruktúra - počet jedincov na ploche, druhové zastúpenie, usporiadanie – heterogenita resp. homogenita, zápoj. Spoločne tieto faktory ovplyvňujú tepelnú bilanciu a formujú mikroklimu sídliska.

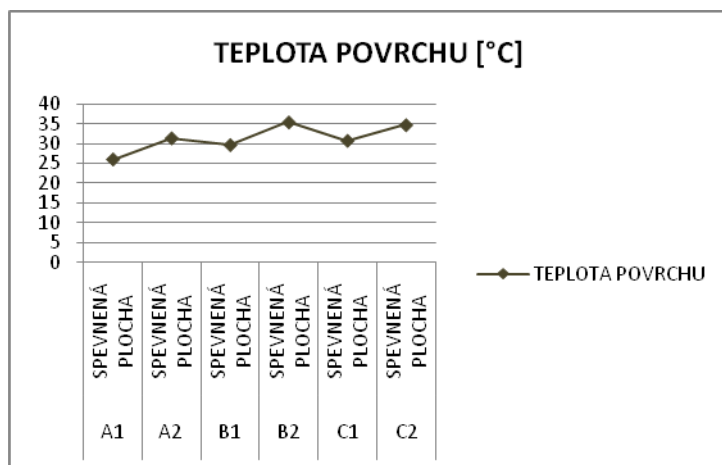
V grafe 1 sme porovnali teplotu povrchu v meranom bode vegetačná plocha v závislosti od štruktúry porastu pre všetky sledované lokality. Najvyššiu teplotu povrchu sme zaznamenali na lokalite C2 ($31,56^{\circ}\text{C}$), kde evidujeme 22 jedincov v piatich formáciách s veľmi riedkym zápojom. Merací bod je lokalizovaný na centrálnej ploche trávnik. Najvyššie percentuálne zastúpenie majú druhy *Taxus baccata*, *Pseudotsuga menziesii*, *Tilia cordata* – 25%. Naopak najnižšiu teplotu povrchu sme zaznamenali na lokalite A1 ($26,04^{\circ}\text{C}$). Porast na vegetačnej ploche A1 je dvojvrstvový s počtom jedincov 50 v relatívne uzavretom hustom zápoji. Najvyššie percentuálne zastúpenie má druh *Acer pseudoplatanus* – 16%. Štatisticky významný rozdiel medzi lokalitami A1-C2 sme zaznamenali v hladine (Tukey HSD test, $p=0,007$ - $p<0,01$).

V grafe 2 sme porovnali teplotu povrchu v meranom bode spevnená plocha pre všetky sledované lokality. Spevnené plochy na sídlisku Chrenová 1 kontinuálne na dvávajú na jednotlivé vegetačné plochy. Tu možno poukázať na priaznivý mikroklimatický účinok vegetácie v letnom období. Najnižšiu teplotu povrchu sme zaznamenali na lokalite A1 ($25,88$

°C). Dreviny v hustom zápoji, na lokalite A1 zabezpečujú čiastočné zatienenie v čase pozitívnej energetickej bilancie, čoho dôsledkom bola najnižšia povrchová teplota na tejto lokalite. Rozdiel v teplote povrchu na spevnenej ploche medzi lokalitou s najnižšou hodnotou A1 (25,88 °C) a lokalitou s najvyššou povrchovou teplotou B2 (35,42 °C) predstavuje 9,54 °C. Na vegetačnej ploche, ktorá kontinuálne nadväzuje na spevnenú plochu lokality B2 evidujeme 11 druhov. Merací bod je lokalizovaný na centrálnej ploche trávniku s riedkou pokrývnosťou. Štatistickú významnosť vo faktore teplota povrchu medzi lokalitami A1-B2 v meranom bode spevnená plocha sme potvrdili v hladine (Tukey HSD test, $p=0,0004$ - $p<0,001$).



Graf 1: Porovnanie teploty povrchu v meranom bode vegetačná plocha pre lokality A1, A2, B1, B2, C1, C2 v čase na poľudnie v letnej sezóne jún–august 2013.



Graf 2: Porovnanie teploty povrchu v meranom bode spevnená plocha pre lokality A1, A2, B1, B2, C1, C2 v čase na poľudnie v letnej sezóne jún–august 2013.

DISKUSIA

Vzájomný vzťah medzi štruktúrou porastu a teplotou povrchu na jednotlivých lokalitách sa prejavil a koštatisticky významný. Rozdiel v teplote povrchu v závislosti od štruktúry porastu sme zaznamenali medzi lokalitami A1 a C2 (5,52 °C). Na lokalite A1 sme potvrdili mikroklimatický účinok kompaktného porastu stromovej vegetácie, kde následne aj teplota povrchu spevnenej plochy v čase pozitívnej energetickej bilancie bola najnižšia (25,88 °C). Vo formovaní mikroklimy sídliska hrá podstatnú úlohu priestorové riešenie jednotlivých funkčných vegetačných plôch ako významných aktívnych povrchov, ktoré priaznivo ovplyvňujú tepelnú bilanciu bezprostredného okolia a tým aj termálny komfort v sídliskovej

zástavbe. Kvantifikovanie získaných dát, štatistické analýzy a návrh priestorového riešenie funkčných vegetačných plôch so sebou nesú možnosti, ako priaznivo riešiť problémy spojené s extrémnymi prejavmi zmien klímy v urbanizovanom prostredí.

LITERATÚRA

- /1/ Reháčková T., Paudišová E.: Vegetácia v urbánnom prostredí. Cicero s.r.o., Bratislava, 2006: 131. ISBN 80-969614-1-1.
- /2/ Rózová Z. a kol.: Environmentálne aspekty urbanizovaného prostredia, FPV UKF v Nitre, 2013: 390. ISBN 978-80-558-0388-3.
- /3/ Scudo et. al.: Evaluation of radiant conditions in urban spaces. In: Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach. 2002: 12–17. ISBN 960-86907-2-2.
- /4/ Středová, H., Bokwa, A, Dobrovolný, P., et. al.: Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 1. vyd., 2011: 102. ISBN 978-80-86690-90-2.
- /5/ Supuka J.: Ekologické princípy ochrany zelene. VEDA, Bratislava, 1991: 307. ISBN 80-224-0128-5.
- /6/ Supuka, J.: Regulatívy plošného zastúpenia vegetačných štruktúr v mestských sídlach. In: Acta Environmentalica Universitatis Comenianae, Bratislava, 2002: 189–195.
- /7/ Wardoyo J., et al.: Vegetation configuration as microclimate control strategy in hot humid tropic urban open space. 2011. In: S ENVAR – ISESEE 1-3 December 2008 International seminar in sustainable environment & architecture.

Pod'akovanie

Uvedený príspevok vznikol s finančnou podporou projektu VEGA 1/0042/12 Analýza vybraných environmentálnych faktorov vo vzťahu k možným zdravotným rizikám.

VPLYV MEDZIROČNÉHO KOLÍSANIA TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK NA VYBRANÉ MORFOLOGICKÉ ZNAKY PLODOV PRI JEDINCOCH GAŠTANA RÔZNEHO TAXONOMICKÉHO PÔVODU

EFFECT OF YEAR-ON-YEAR FLUCTUATION OF AIR TEMPERATURES AND PRECIPITATIONS ON THE SELECTED MORPHOLOGICAL TRAITS OF FRUITS IN CHESTNUTS OF DIFFERENT TAXONOMIC ORIGIN

Milan Bolvanský, Jozef Pažitný

Ústav ekológie lesa SAV vo Zvolene, Pobočka biológie drevín v Nitre, Akademická 2, 94901 Nitra,
Slovenská republika, milan.bolvansky@savzv.sk

Summary

In l ocality P ríbelce, i n four c hestnut s pecimens of di fferent t axonomic or igin (*Castanea crenata*, *Castanea sativa* x *C. crenata* a *C. sativa* x *C. sativa*), variation of three morphologic traits (fruit weight, fruit shape and length of pellicle intrusions into kernel) was evaluated in relation to air temperature and sum of rainfalls for the period June – September over the nine consecutive years (2005 – 2013). V ariation of a ll t hree s tudied tr aits w as s tatistically significantly a ffected b y years and i nteraction years x t rees. C orrelation b etween air temperature, sum of rainfalls and fruit traits was stronger if years 2007 – 2011 were included to c alculat ion. In 2005, 2006 s tudied fruit tr aits, f irst o f a ll fruit w eight, w ere affected b y lower fruit yield a nd i n 2012 b y e xtreme hi gh t emperatures a nd dr aught dur ing ve getation period.

Key w ords: Castanea s ativa, C . c renata, C . s ativax C. c renata, frui t weight, fruit s hape, pellicleintrusions

Súhrn

Pri š tyroch j edincoch gaštana rôzneho taxonomického pôvodu (*Castanea crenata*, *Castanea sativax C. crenata* a *C. sativa* × *C. sativa*) na lokalite Príbelce bola hodnotená premenlivosť troch morfológických znakov plodov (hmotnosť, tvar plodu a dĺžka v ýbežkov os emenia) v závislosti od t eploty vzduchu a úhrnu z rážok z a obdobi e j ún–september počas po sebe nasledujúcich 9 rokov (2005–2013). Premenlivosť všetkých troch sledovaných znakov plodov bola š tatisticky významne ovpl yvnená rokmi a interakciou roky x stromy. Závislosť medzi priemernou teplotou vzduchu, úhrnom zrážok v období jún–september a sledovanými znakmi plodov bola tesnejšia ak sa brali do úva hy roky 2007–2011. V rokoch 2005, 2006 bol i znaky plodov, najmä hmotnosť ovplyvnené menšou násadou plodov a v r. 2012 na dpriemerne vysokými teplotami vzduchu a suchom vo vegetačnom období

Kľúčové slová: Castanea sativa, C. crenata, C. sativa × C. crenata, hmotnosť plodov, tvar plodov, výbežky osemenia

ÚVOD

Vybrané m orfológické z naky pl odov s ú použ ívané a ko dôl ežité de skriptory pr e posudzovanie odl išností m edzi kul tivar mi g aštana / 4, 6, 8/ . P ri t akýchto š túdiách s ú morfometrické údaje plodov zhromažďované len počas dvoch až troch rokov bez sledovania vplyvu rokov na charakteristiky plodov. Len niekoľko štúdií gaštanových kultivarov sleduje variabilitu znakov plodov počas viacerých rokov a v s úvislosti s klimatickými charakteristikami /5, 7/. Na Slovensku sa vo viacerých prácach hodnotili veľkosť plodov pri

starších jedincoch gaššana jedlého vo vzťahu k okolitej teplote a množstve zrážok počas vývoja plodov /1, 2/ ale aj viaceré znaky plodov pri mladých potomstvách gaššana rôzneho taxonomického pôvodu /3/. Doteraz však chýba dlhodobšie hodnotenie vplyvu teploty a zrážok na morfológické znaky plodov pri jednotlivých srovnávaných gaššana rôzneho taxonomického pôvodu. Cieľom tejto štúdie je rozšíriť existujúce poznatky práve v uvedenom smere.

MATERIÁL A METÓDY

Pozorovania boli robené v gaššanovom sade, ktorý sa nachádza na juhu stredného Slovenska, pri obci Príbelce, na 48°12'10" N a 19°15'40" E, v nadmorskej výške 285 metrov. Sad bol založený v r. 1997 na ploche 3,5 ha, na svahe s juhozápadnou expozíciou a s premenlivým sklonom od 8° do 16,7°. Podľa najbližšej meteorologickej stanice, dlhodobá priemerná teplota vzduchu v tomto mieste je 9,54 °C a priemerný ročný úhrn zrážok 597 mm.

Plody boli odoberané zo štyroch stromov gaššana rôzneho pôvodu. Semenáč L7 pochádza zo stromu *C. crenata* pestovanom v Španielsku, štepence E4 a I16 pochádzajú z dvoch rôznych hybridov *C. sativa1* × *C. crenata* a *C. sativa2* × *C. crenata* a štep J20 je vnútrodruhový hybrid *C. sativa1* × *C. sativa2*. Štepenie bolo robené na mieste výsadby do 2-ročných semenáčikov v roku 1998. Sledované jedince sa odlišovali od seba hmotnosťou plodov (Tab. 1). Z každého z vybraných stromov bolo odoberaných každoročne po 30 plodov počas rokov 2005 až 2013. V rokoch 2006 a 2007 neboli odobraté vzorky plodov zo stromov J20 a I16. Boli preferované bočné plody z trojplodých čiašok. Pri plodoch sa merala hmotnosť, výška a šírka plodu a dĺžka výbežkov osemenia. Tvarový index, bol vypočítaný ako pomer šírky a výšky plodu vynásobenej 100.

Použili sa meteorologické údaje priemerných, minimálnych a maximálnych mesačných teplôt vzduchu a mesačných úhrnov zrážok za roky 1965 až 2013 z klimatologickej stanice Dolné Plachtince (IND 11905) a zo zrážkomernej stanice Čebovce (IND 40040). Údaje boli poskytnuté SHMÚ v Bratislave. Do hodnotenia boli zahrnuté údaje za obdobie od júna do septembra. Dlhodobé priemery meteorologických prvkov boli zahrnuté roky 1965 – 2013.

Variabilita znakov plodov medzi jedincami a medzi rokmi bola vyhodnotená pomocou softvéru Statistika 8 použitím faktorovej analýzy v rámci všeobecného lineárneho modelu (GLM), typ 1 (sekvenčný). Korelácie medzi meteorologickými prvkami a hodnotami morfometrických charakteristík sa je dnotlivé roky a grafické záznamy týchto závislostí boli robené pomocou príslušných funkcií programu MS Office Excel.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Nezávisle na rokoch sa sledované jedince odlišovali od seba vo všetkých hodnotených znakoch plodov pričom bol odlišný buď každý jedinec (hmotnosť plodu) alebo dva jedince (E4, I16 a E4, L7) mali nevýznamne rozdielne hodnoty niektorých znakov (dĺžka výbežkov osemenia, tvarový index) (Tab. 1).

Hodnoty sledovaných znakov kolísali významne aj medzi rokmi. V dôsledku vysokej variability hodnôt znakov v rámci jedného roku pri všetkých štyroch jedincoch, boli viaceré rozdiely štatisticky nevýznamné. Napr. v priemere najnižšia hmotnosť plodov v roku 2012 sa neodlišovala významne od vyšších priemerných hodnôt v iných piatich rokoch (Tab. 1). Významne sa však odlišovala hmotnosť plodov v rokoch 2005 a 2006 od hmotnosti v ostatných rokoch. Pri tvarovom indexe sa najvyššia hodnota, pozorovaná v r. 2006, významne odlišovala od hodnôt v zvyšných rokoch. Dĺžka výbežkov osemenia bola v priemere najväčšia v rokoch 2011 a 2012 no významne sa odlišovala iba od dĺžky výbežkov v rokoch 2008 a 2013.

Pri všetkých troch znakoch sa pozorovala významná interakcia medzi rokmi a stromami t.j. niektoré jedince reagovali na podmienky určitého roku inakšie ako druhé (Graf 1).

Kolísanie hodnôt hmotnosti plodov medzi rokmi malo podobný priebeh pri veľkoplodých jedincoch L 7 a E4. Kým v rokoch 2007–2011 bola hmotnosť plodov v kladnej závislosti od priemernej teploty vzduchu, v rokoch 2005, 2006, 2012 a 2013 bola táto závislosť záporná. V prvých dvoch rokoch pozorovania boli totiž plody väčšie pri všetkých jedincoch kvôli ich mladšiemu veku a menšej násade plodov a v r. 2012 boli plody výrazne menšie v dôsledku nadpriemerne vysokých teplôt z a obdobia vývinu a dozrievania plodov. Úhrn z rážok bol v tomto období v medziach dlhodobého normálu no predchádzajúce mesiace mali veľký zrážkový deficit. Teplo a sucho vo vegetačnom období roku 2012 sa prejavilo negatívne na hmotnosti plodov aj pri jedincovi s najmenšími plodmi, vnútrodruhovom krížencovi J 20, no pozitívne pri hybridu I 16 kde bol pozorovaná druhá najvyššia hodnota z a s ledovaných 9 rokov (10,05 g).

Kladná závislosť na teplote v období vývinu a dozrievania plodov a záporná na úhrne zrážok bol pozorovaná pri hmotnosti plodov starších jedincov s väčšími plodmi /1, 2/. Naopak pri jedincoch s malými plodmi bolo medziročné kolísanie v kladnej korelácii s úhrnom zrážok a negatívnej korelácii s priemernou teplotou z a obdobia vývinu a dozrievania plodov. Medziročné kolísanie kvantitatívnych znakov plodov bolo pozorované aj pri 10–12 ročných potomstvách gaštanu z kontrolovaného vnútrodruhového (*C. sativa* × *C. sativa*) a medzidruhového (*C. sativa* × *C. crenata*) kríženia /3/. Pri potomstvách, ktoré mali v priemere väčšie plody a zároveň menšiu násadu plodov (nezávisle na rodičovských jedincoch) bol vplýv teploty z a júla–september na medziročné kolísanie hmotnosti plodov pozitívny (nezávisle na množstve zrážok) kým pri potomstvách s menšími plodmi teploty nad dlhodobým priemerom a podpriemerné zrážky negatívne vplývali na hmotnosť plodov.

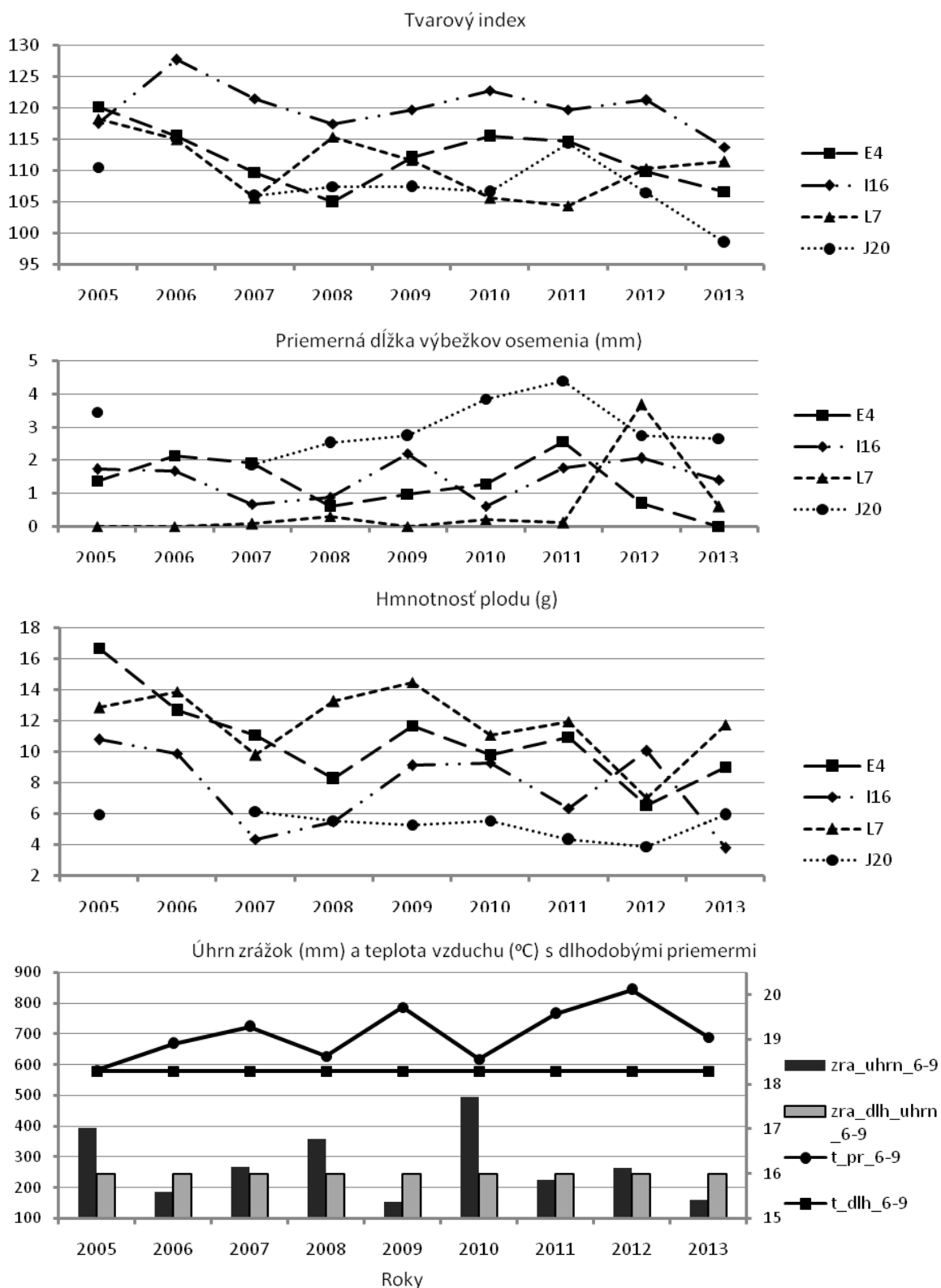
Podobná závislosť hmotnosti plodov na teplote bola pozorovaná aj v tejto práci pri vnútrodruhovom hybridu J 20, ktorým sa v priemere na menšie plody z o s ledovaných jedincov.

Hodnoty tvarového indexu plodov kolísali medziročne pri jednotlivých jedincoch nezávisle na kolísaní teploty vzduchu a zrážok. Na dĺžke výbežkov osemenia sa pri niektorých jedincoch prejavil vplýv teploty pozitívne a zrážok negatívne (I16) pri iných jedincoch vplyv teploty negatívne a zrážok pozitívne (L7) pri uvažovaní rokov 2007–2011.

Tab. 1: Mnohonásobné porovnanie priemerov (Scheffeho test) hmotnosti plodov, dĺžky výbežkov o semena a tvarového indexu (šírka/výška plodu × 100) medzi jedincami a medzi rokmi pri 4 jedincoch gaštanu rôzneho taxonomického pôvodu

Porovnanie	Hmot. plodov (g)			Dĺ. výbež. osem. (mm)			Tvarový index (š/v x100)		
medzi stromami	J 20	5,30	a	L 7	0,57	a	J 20	107,18	a
	I 16	8,03	b	E 4	1,28	b	L 7	110,70	b
	E 4	10,74	c	I 16	1,55	b	E 4	112,14	b
	L 7	12,00	d	J 20	3,01	c	I 16	116,11	c
medzi rokmi	2012	7,45	a	2008	1,09	a	2007	107,13	a
	2013	7,61	a	2013	1,17	a	2013	107,61	ab
	2008	8,06	a	2007	1,29	ab	2005	108,87	abc
	2011	8,38	a	2006	1,40	ab	2008	111,24	abc
	2010	8,93	ab	2009	1,48	ab	2012	112,01	ac
	2007	8,99	ab	2010	1,49	ab	2010	112,65	c
	2009	10,13	bc	2005	1,64	ab	2009	112,72	c
	2005	11,56	cd	2011	2,22	b	2011	113,28	c
	2006	11,96	d	2012	2,26	b	2006	119,83	d

Hodnoty v stĺpci, za ktorými je rôzne písmeno sa štatisticky významne rozlišujú pri $p = 0,05$



Graf 1: Medziročné kolísanie priemerných hodnôt vybraných z nakoľ plodov a teploty vzduchu a úhrnu zrážok za obdobie jún–september.

LITERATÚRA

- /1/ Benčať, F., Bolvanský, M.: Influence of climatic factors on the fruit weight of Spanish chestnut. *Folia dendrologica*, 11, 1984: 213–232.
- /2/ Bolvanský, M.: Vnútrodruhová a sezónna variabilita hmotnosti plodov gaštanu jedlého, (*Castanea sativa* Mill.) na vybraných lokalitách Slovenska. *Poľnohospodárstvo*, 34/10, 1988: 892–905.

- /3/ Bolvanský, M., Mendel, L.: Seasonal variation in quantitative traits of fruits in chestnut progenies of different origin. *Folia oecologica*, 28 (1–2), 2001: 33–42.
- /4/ Bounous, G., Agnisetta, N., Baldizzone, M.C., Gioffre, D., Paglietta, R., Zapia, R.: Indagini sulle Caratteristiche Bioagronomiche di 10 Cultivar di Castagno Piemontesi. In: *L'Informatore Agrario*, 49, 1988: 51–77.
- /5/ Casini, E., Alessandri, S., Calvelli, S.: Quantitative description of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) accessions, selected from a population grown in Florence province (Mugellozone). In: *Proceedings of the International Congress on Chestnut*. Spoleto 20–23 October, 1993: 347–350.
- /6/ Chapa, J.: Châtaignes et Marrons, Varieties Inscrites au Catalogue officiel. *L'Arboriculture Fruitière*, 399, 1987: 21–30.
- /7/ Pereira, S., Fernández, J.: Fruit duality characteristics of important chestnut cultivars in Galicia, Spain, In: *Proceedings of the International Chestnut Conference*, Morgantown, West Virginia, 10–14 July 1994: 66–70.
- /8/ Pereira, S., Fernández, J.: Description of 80 cultivars and 36 clonal selections of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) from northwestern Spain. *Fruit Varieties Journal*, 51, 1997: 3–27.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory projektu VEGA 2/0214/10.

**VČASNÝ ÚČINOK Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} A Cu^{2+} NA
TRANSMEMBRÁNOVÝ POTENCIÁL RIZODERMÁLNÝCH BUNIEK
DVOCH DRUHŮ *THLASPI* S ODLIŠNOU TOLERANCIOU ŤAŽKÝCH
KOVŮV**

***EARLY EFFECTS OF Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} AND Cu^{2+} ON TRANSMEMBRANE
POTENTIAL OF RHIZODERMAL CELLS IN TWO *THLASPI* SPECIES DIFFERING IN
HEAVY METAL TOLERANCE***

Roderik Fiala¹, Milada Čiamporová¹, Vladimír Repka¹, Michal Martinka^{1,2}, Ján Pavlovkin¹

¹Botanický ústav, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 845 23 Bratislava, Slovenská republika

²Katedra fyziológie rastlín, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina B2, 842 15 Bratislava, Slovenská republika

Summary

The results point not only to distinct effects of individual HM on rhizodermal cells but also to different species sensitivity of *Thlaspi arvense* and *T. caerulescens* as well as ecotype sensitivity of the hyperaccumulator *T. caerulescens*.

Key words: Thlaspi, rhizodermal cells, heavy metals (HM), membrane potential (E_M)

Zhrnutie

Výsledky poukazujú nielen na odlišné účinky jednotlivých ťažkých kovov na rizodermálne bunky, ale zároveň aj na odlišnú druhovú citlivosť *Thlaspi arvense* a *T. caerulescens* a ekotypovú citlivosť hyperakumulátora *T. caerulescens*.

Kľúčové slová: Thlaspi, rizodermálne bunky, ťažké kovy (HM), membránový potenciál (E_M)

ÚVOD

Ióny ťažkých kovov (HM), napríklad Cu^{2+} , Zn^{2+} a Ni^{2+} , sú pre vyššie rastliny esenciálne a majú úlohu vo viacerých metabolických procesoch, zatiaľ čo funkcie Pb^{2+} and Cd^{2+} v rastlinách neopoznáme. Je však známe, že zvýšené koncentrácie ako esenciálnych, tak aj neesenciálnych ťažkých kovov v pôde môžu byť pre väčšinu rastlín toxické, pretože sa do rastlín dostávajú transportérmi kovov s nízkou špecifitou [2].

Symptómy toxicity prejavujúce sa v prítomnosti nadmerných dávok ťažkých kovov môžu byť spôsobené celou škálou interakcií na bunkovej/molekulárnej úrovni. Existujú však rastlinné druhy, ktoré sa evolučne adaptovali na pôdy obsahujúce kovy a na extrémne prostredie kovov v pôde. Tieto druhy vlastnia viaceré potenciálne mechanizmy, ktoré môžu byť spojené s detoxikáciou a teda toleranciou stresu z ťažkých kovov [4]. Na toleranciu sa môže podieľať aj plazmatická membrána (PM) redukovaním príjmu ťažkých kovov alebo stimulovaním effluxu kovov, ktoré sa dostali do cytosolu. Niektoré druhy rodu *Thlaspi* (syn. *Noccaea*) sú schopné hyperakumulovať viac než jeden kov bez zreteľných príznakov toxicity, napríklad určité ekotypy *T. caerulescens* (Cd, Ni, Pb, Zn), *T. goesingense* (Ni, Zn), *T. ochroleucum* (Ni, Zn) a *T. rotundifolium* (Ni, Pb, Zn) [4]. Rastliny – hyperakumulátory kovov majú významný potenciál pre použitie v remediácii prostredia. Skutočnosť, že druh *T. arvense* je citlivý na ťažké kovy, zatiaľ čo druh *T. caerulescens* je tolerantný, poskytuje

ideálnu príležitosť pre komparatívnu analýzu mechanizmov podmieňujúcich rozmanitosť stratégií adaptácie na ťažké kovy.

Cieľom práce bolo porovnať účinky rôznych koncentrácií ťažkých kovov na dynamické zmeny transmembránového potenciálu (E_M) v rizodermálnych bunkách hyperakumulátora *Thlaspi caerulescens* rastúceho na pôdach s vysokým alebo normálnym obsahom ťažkých kovov a príbuzného druhu *Thlaspi arvense*, ktorý nie je hyperakumulátor a nie je tolerantný a rastie na pôde s normálnym obsahom kovov.

MATERIÁL A METÓDY

Rastlinný materiál

Na pokusy sme použili ekotypy dvojročných rastlín peniažteka (*T. caerulescens*) (1) rastúceho na banských haldách Terezie pri Banskej Štiavnici, ktorú sú kontaminované vysokými koncentraciami HM (prepočítané na suchú hmotnosť pôdy: Cd – 29,9 mg/kg, Pb – 4 636 mg/kg, Cu – 168 mg/kg a Zn – 322 mg/kg) a vysokou kyslosťou pôdy (pH 4,5) a (2) ekotypy *T. caerulescens* a *T. arvense*, ktorú rásť na lúkach s nekontaminovanou pôdou a nízkym obsahom HM: Cd – 0,4 mg/kg DW, Pb – 81 mg/kg DW, Cu – 11 mg/kg DW a Zn – 78 mg/kg DW, pH 5,4 [3].

Elektrofyziológické merania

E_M a difúzy potenciál (E_D) sme merali v rizodermálnych bunkách bočných koreňov dvojročných rastlín *Thlaspi* štandardnou mikroelektrodovou technikou [7]. Po odstránení pôdy z koreňov sme 2 cm dlhé segmenty bočných koreňov preniesli na dve hodiny do prevzdušňovaného 0,5 mmol/L $CaSO_4$, fixovali v 4 mL prietokovej komôrky s konštantným prietokom (5 mL/min) a pľavali prietokovým roztokom obsahujúcim 0,1 mmol/L KCl, 0,1 mmol/L $CaCl_2$ a 0,1 mmol/L $CaSO_4$, pH 5. Experimentálny prietokový roztok pozostával z 0,1 mmol/L KCl, 0,2 mmol/L $MgSO_4$, 0,1 mmol/L $CaCl_2$ a 0,01 – 1 mmol/L chloridu kovu (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} ; pH 5). Kapiláry sme pomocou mikromanipulátora vpichovali do jednotlivých rizodermálnych buniek vo vzdialenosti 2 mm od koreňovej špičky. Zmeny E_M vyvolané HM sme merali kontinuálne počas celého experimentu (30 – 500 min) pri teplote 22 °C. Na oddelenie aktívnej časti E_M od pasívnej (E_D) sme použili anoxiu.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dynamické zmeny E_M rizodermálnych buniek v prítomnosti rôznych koncentrácií HM sú spoľahlivým indikátorom zmien PM, ktorá je prvou selektívnou bariérou medzi vonkajším prostredím a bunkami koreňa.

Hodnoty E_M a E_D rizodermálnych buniek sa v kontrolných podmienkach pohybovali v rozmedzí od –96 do –113 mV (E_M) a od –48 do –57 mV (E_D). Neregistrovali sme štatisticky preukazné rozdiely v hodnotách E_M a E_D rizodermálnych buniek koreňov rastlín rastúcich na kontaminovaných (KP) v porovnaní s nekontaminovanými pôdami (NP). V našich experimentálnych podmienkach sme namerali nasledovné hodnoty: *T. arvense* rastúci na NP - E_M –104,7 ± 6,2 mV (n=16), E_D –52,3 ± 4,2 mV (n=3); *T. caerulescens* rastúci na NP - E_M –106 ± 6,5 mV (n=19), E_D –51,9 ± 4,4 mV (n=3); *T. caerulescens* rastúci na KP - E_M –104,2 ± 6,1 mV (n=21), E_D –51,1 ± 4,2 mV (n=3).

Odpovede PM rizodermálnych buniek na nízke koncentrácie kovov boli rozdielne. Cd^{2+} (≤5 μmol/L) a Cu^{2+} (≤0,5 μmol/L) nemali vplyv na E_M , zatiaľ čo Pb^{2+} (≤10 μmol/L), Ni^{2+} (≤10 μmol/L) a Zn^{2+} (≤50 μmol/L) hyperpolarizovali E_M . Veľkosť hyperpolarizácie nebola koncentračne závislá, avšak výraznejšie hyperpolarizácie sme registrovali v rizodermálnych bunkách koreňov oboch ekotypov *T. caerulescens* v porovnaní s *T. arvense*.

Pridanie vysokých a pre rizodermálne bunky toxických koncentrácií kovov Cd^{2+} , Pb^{2+} a Cu^{2+} (1 mmol/L) vyvolalo okamžitú depolarizáciu E_M na úroveň hodnôt E_D . Menej výraznú

depolarizáciu E_M sme registrovali pri pôsobení 1 mmol/L Zn^{2+} a Ni^{2+} (Tab. 1). Veľkosť depolarizácie bola koncentračne závislá.

Veľkosť, charakter a rýchlosť zmien E_M závisela nielen od použitého kovu, ale aj od jednotlivých druhov a ekotypov *Thlaspi*, čo poukazuje na ich odlišnú stratégiu adaptácie na toxické koncentrácie kovov v prostredí.

Po dosiahnutí maximálnej depolarizácie E_M rizodermálnych buniek koreňov *T. arvense* rastúcich na NP v yvolanej 1 mmol/L neesenciálnymi iónmi Cd^{2+} a Pb^{2+} sa jeho hodnoty výraznejšie nezmenili ďalších 6–8 h. Ekotypy *T. caerulescens* rastúce na NP a KP v porovnaní s *T. arvense* vykazovali aj odlišnú odpoveď na Cd^{2+} a Pb^{2+} . Po dosiahnutí maximálnej depolarizácie však E_M v priebehu 2–4 h pri oboch ekotypoch repolarizoval na pôvodnú hodnotu a v prípade Cd^{2+} sme registrovali hodnoty vyššie ako u kontroly.

Vysoké koncentrácie esenciálnych kovov Zn^{2+} , Ni^{2+} a Cu^{2+} vyvolávali dramatické zmeny E_M rizodermálnych buniek, ale ich charakter bol odlišný od zmien spôsobených Cd^{2+} a Pb^{2+} . Zn^{2+} a Ni^{2+} prechodne depolarizovali membránu rizodermálnych buniek *T. arvense* ďalej výraznejšie ako ekotypy *T. caerulescens* rastúce na NP a KP. Priebeh a veľkosť depolarizácie v yvolaná Cu^{2+} bola rovnaká pri *T. arvense* a ekotypoch *T. caerulescens*. Vo všeobecnosti toxický vplyv kovov na PM klesal v rade $Cd^{2+} > Cu^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$.

Príjem HM koreňovými bunkami závisí od aktivity a regulácie procesov lokalizovaných v PM. Zmeny štruktúrnych a funkčných vlastností PM vyvolané ťažkými kovmi sú významným faktorom ovplyvňujúcim príjem esenciálnych iónov bunkami z vonkajšieho prostredia vedúcim k porušeniu iónovej rovnováhy. V našom príspevku, pokiaľ je nám známe, po prvýkrát uvádzame výsledky poukazujúce na výrazné zmeny PM vo včasných fázach pôsobenia rôznych koncentrácií HM na rizodermálne bunky koreňov peniažteka.

Tab.1: Vplyv 1 mM Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} a Cu^{2+} na depolarizáciu membránového potenciálu (E_M) epidermálnych buniek bočných koreňov peniažteka.

	nekontaminovaná pôda						kontaminovaná pôda		
	<i>T. arvense</i>			<i>T. caerulescens</i>			<i>T. caerulescens</i>		
	max. depolarizácia	repolarizácia		max. depolarizácia	repolarizácia		max. depolarizácia	repolarizácia	
čas (min)	ΔE_M (mV)	čas (min)	čas (min)	ΔE_M (mV)	čas (min)	čas (min)	ΔE_M (mV)	čas (min)	
Cd	40-90	61±4,8 ^a	–	30-50	57±4,2 ^a	180-270 *	18-35	31±3,9 ^b	130-210 *
Pb	70-160	56±4,4 ^a	–	70-80	50±4,1 ^a	300-500	20-30	41±4,7 ^c	170-240
Zn	8-13	26±2,8 ^b	10-14	17-22	25±3,2 ^b	10-15 *	7-12	10±3,4 ^d	10-16 *
Ni	9-17	22±3,1 ^b	13-18	8-14	19±4,0 ^b	18-33	5-8	11±3,2 ^d	10-12 *
Cu	6-12	58±4,4 ^a	–	6-12	60±5,1 ^a	–	6-12	58±6,0 ^a	–

Údaje sú vyjadrené ako priemer ± smerodajná odchýlka. * - hyperpolarizácia E_M . Rozdielne malé písmená (a–d) označujú štatisticky významné rozdiely ($P < 0,05$) v hodnotách ΔE_M . Pozn.: Vplyv kovov klesal v rade $Cd^{2+} > Cu^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$.

Naše výsledky pôsobenia Cd a Pb na E_M rizodermálnych buniek *T. arvense* sú podobné výsledkom získaným na koreňoch kukurice /6/ a na stonkách *Impatiens* /1/, kedy po výraznej depolarizácii E_M sa jeho hodnoty nemenili počas niekoľkých hodín. Autori sa domnievajú, že primárnym miestom pôsobenia Cd a Pb sú H^+ -ATPázy PM, zabezpečujúce transport iónov proti elektrochemickému gradientu. Odlíšne výsledky po pôsobení Cd boli zaznamenané na koreňoch ryže a jačmeňa /8/ a tiež kukurice /7/. Tieto autori po výraznej depolarizácii pozorovali následnú repolarizáciu E_M , podobnú tej, ktorú sme zaznamenali v našich experimentoch s ekotypmi *T. caerulescens* rastúcimi na NP a KP. Domnievame sa, že odlišné reakcie rizodermálnych buniek ekotypov *T. caerulescens* v porovnaní s *T. arvense* sú spôsobené skôr odlišnými odpoveďami vyvolanými HM po vniknutí do cytoplazmy, než ich priamym účinkom na H^+ -ATPázy PM a pozorovaná repolarizácia môže byť vyvolaná

spustením detoxikačných procesov (syntéza antioxidantov a pod) zabezpečujúcich bunkovú homeostázu.

Esenciálny Zn a Ni depolarizovali PM výraznejšie v porovnaní s neesenciálnymi kovmi Cd a Pb len pri vyšších koncentráciách. Veľkosť depolarizácie bola koncentračne závislá, pričom zaznamenaná repolarizácia môže byť odrazom zabudovania iónov do bunkových štruktúr / 5, 8/. Odpovede rizodermálnych buniek *T. arvensis* a ekotypov *T. caerulescens* k iónom Cu boli rovnaké.

LITERATÚRA

- /1/ Aidid, S.B., Okamoto, H.: Effects of lead, cadmium and zinc on the electric membrane potential at the xylem/symplast interface and cell elongation of *Impatiens balsamina*. Environmental Experimental Botany, 219, 2002: 439–448.
- /2/ Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Hajar, A.S.M.: Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl (Brassicaceae). New Phytologist, 127, 1994: 61–68.
- /3/ Banášová, V., Horák, O., Nadubinská, M., Čiamporová, M., Lichtsteidl, I.: Heavy metal content in *Thlaspi caerulescens* J. et C. Presl growing on metalliferous and non-metalliferous soils in Central Slovakia. International Journal of Environment and Pollution, 33, 2008: 133–145.
- /4/ Hall, J.R., Reynolds, B., Sparks, T., Colgan, A., Thornton, I., McGrath, S.P.: The relationship between topsoil and stream sediment heavy metal concentrations and acidification. Water Air and Soil Pollution, 130, 2001: 1067–1072.
- /5/ Kenderešová, L., Staňová, A., Pavlovkin, J., Ďurišová, E., Nadubinská, M., Čiamporová, M., Ovečka, M.: Early Zn²⁺-induced effects on membrane potential account for primary heavy metal susceptibility in tolerant and sensitive *Arabidopsis* species. Annals of Botany, 110, 2012: 445–449.
- /6/ Kennedy, C.D., Gonsalves, A.N.: The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and H⁺ efflux of excised roots. Journal of Experimental Botany, 38, 1987: 800–817.
- /7/ Pavlovkin, J., Luxová, M., Mistríková, I., Mistrík, I.: Short- and long-term effects of cadmium on transmembrane electric potential (E_m) in maize roots. Biologia, 61, 2006: 109–114.
- /8/ Sanz, A., Llamas, A., Ullrich, C.I.: Distinctive effects of Cd and Ni on membrane functionality. Plant Signalling and Behaviour, 4, 2009: 980–98.

Pod'akovanie

Práca bola podporená projektom VEGA 2/0023/13.

VPLYV ZINKU A KREMÍKA NA AKTIVITU ANTIOXIDAČNÝCH ENZÝMŮ V MLADÝCH RASTLINÁCH *Zea Mays* L. V PODMIENKACH ZASOLENIA

EFFECT OF Zn AND Si ON ANTIOXIDANT ENZYMES ACTIVITIES OF *Zea Mays* L. IN SALT CONDITION

Ivana Fialová¹, Miroslava Vaculíková¹, Lenka Šimková¹, Miroslava Luxová¹

¹Botanický ústav SAV, Oddelenie fyziológie rastlín, Dúbravská cesta 9, 845 23 Bratislava, Slovenská republika, ivfiala@gmail.com

Summary

Effects of 150 mM NaCl, 50 and 500 μM Zn and 2.5 mM Si on the activities of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POX) and ascorbate peroxidase (APX), were investigated in maize cultivar Novania. Specific changes in enzyme activities of plant antioxidative system were observed. The isoenzyme profile and activities of SOD and APX were tested by native PAGE and spectrophotometrically likewise MDA. SOD isoenzyme spectra differed in leaves, especially under treatment with NaCl, Si and 500 μM Zn as well as APX. MDA accumulation was detected in the case of NaCl and Zn treatment. Positive effect of Si on the reverse of NaCl and Zn toxicity has been confirmed by changes of MDA levels in the second leaf.

Key words: APX, MDA, native PAGE, salinity, Si, SOD, maize, Zn

Súhrn

Sledovali sme vplyv 150 mM NaCl, 50 a 500 μM Zn a 2,5 mM Si a ich vzájomných kombinácií na 12 dňové hydroponicky pestované rastliny kukurice hybridu Novania na antioxidačné enzýmy (SOD, POX, APX) a neenzymatické obranné procesy. V nadzemnej časti rastliny SOD reagovala zmenou aktivity iba v prípade zasolenia a kombinácie NaCl, Si a 500 μM Zn. APX reagovala znížením aktivity práve v prípadoch vyššej koncentrácie Zn, v prítomnosti NaCl výraznejšie. Zistili sme akumuláciu MDA a ko-biomarkera poškodenia biologických membrán u variantov s NaCl a Zn. Očakávaný pozitívny vplyv Si na zníženie toxicity Zn a/alebo NaCl sme zaznamenali pri sledovaní hladiny MDA, keď po škodení lipidickej zložky membrán bolo menšie v porovnaní s pôsobením NaCl, Zn, aj kombinácií.

Kľúčové slová: APX, kukurica, MDA, natívne PAGE, Si, SOD, zasolenie, Zn

ÚVOD

V súčasnosti je alarmujúcim environmentálnym problémom stúpajúce zasolenie pôdy. Zasolenie spôsobuje osmotický stres a zároveň soľ pôsobí na rastlinu toxicky. Prejavy toxicity Zn sú: menší výťažok, zakrpatený vzrast, chloróza [2]. Kremík je druhým najčastejšie sa vyskytujúcim prvkom v pôde. Rastliny ho ľahko absorbujú, nepovažuje za esenciálny prvok. V rastlinnom organizme zohráva významnú úlohu: oslabuje vplyv abiotických stresorov, napr. Mn, Al a i.; zasolenia, sucha, chladu. Mechanizmus pôsobenia Si predstavuje stimuláciu antioxidačných systémov, tvorbu komplexných zlúčenín, resp. koprecipitátov s ťažkými kovmi, ovplyvnenie procesov vychytávania a kompartmentáciu iónov kovov v rastline [7]. Vystavením rastliny nepriaznivým vplyvom dochádza k nárastu hladiny reaktívnych foriem kyslíka (ROS: O₂ a H₂O₂) a oxidačnému stresu, preto sa vyvinul komplexný antioxidačný systém na ochranu bunkových membrán a organel. Superoxiddismutázy (SOD) katalyzujú

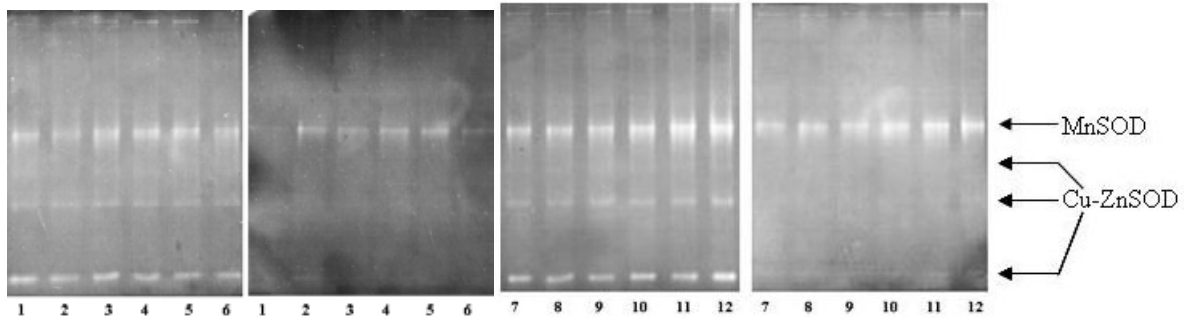
premenu superoxidového radikálu na molekulu kyslíka a peroxid. Podľa kovového kofaktora sa enzýmy SOD delia na tri skupiny: FeSOD (chloroplastová), MnSOD (mitochondriálna a peroxizómová), Cu-ZnSOD (vyskytuje sa v chloroplastoch, v cytozole a extracelulárnom priestore). Peroxidázy katalyzujú redukciu peroxidov a oxidáciu xenobiotík. Askorbátperoxidáza (APX) zohráva významnú úlohu v metabolizme H₂O₂ u vyšších rastlín, predstavuje ju viacero izoenzýmov. Využíva askorbát ako špecifický donor elektrónov na redukciu H₂O₂ na H₂O. Malondialdehyd (MDA) a kopr odukt rozpadu polynenasýtených mastných kyselín biomembrán sa pokladá za všeobecný markerperoxidácie lipidov.

MATERIÁL A METÓDA

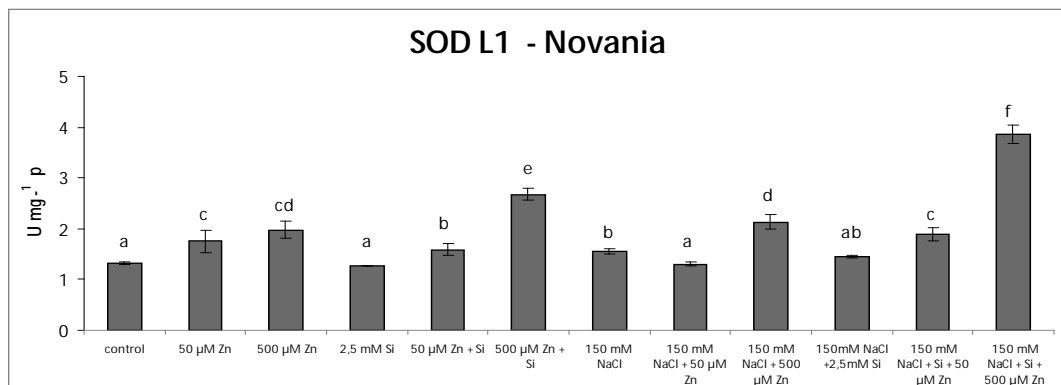
Sterilizované semená kukurice satej (*Zea mays* L. hybrid Novania) sme po naklíčení pestovali v Hoaglandovom /5/ živnom roztoku v nasledovných variantoch: 1.- 0 (kontrola), 2.-50 µM Zn, 3.- 500 µM Zn, 4.- 2,5 mM Si, 5.- 50 µM Zn + 2,5 mM Si, 6.- 500 µM Zn + 2,5 mM Si, 7.- 150 mM NaCl, 8.- 150 mM NaCl + 50 µM Zn, 9.-150 mM NaCl + 500 µM Zn, 10.- 150 mM NaCl + 2,5 mM Si, 11.- 150 mM NaCl + 50 µM Zn + 2,5 mM Si, 12.- 150 mM NaCl + 500 µM Zn + 2,5 mM Si. Izoenzýmový obraz skúmaných enzýmov sme zisťovali elektroforézou na natičných géloch (12 % resp. 10 %) pri 4 °C, 15 mA na gél, 50 µg bielkovín na jamku. Obsah rozpustných bielkovín sme stanovili spektrofotometricky podľa /1/. Izoenzýmy SOD sme vfarbovali s NBT podľa /3/, APX taktiež s NBT podľa /10/. Aktivita SOD sa stanovila použitím NBT spektrofotometricky metódou podľa /11/ a APX aktivita sa stanovila sledovaním rýchlosti oxidácie askorbátu pri 290 nm podľa /9/.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

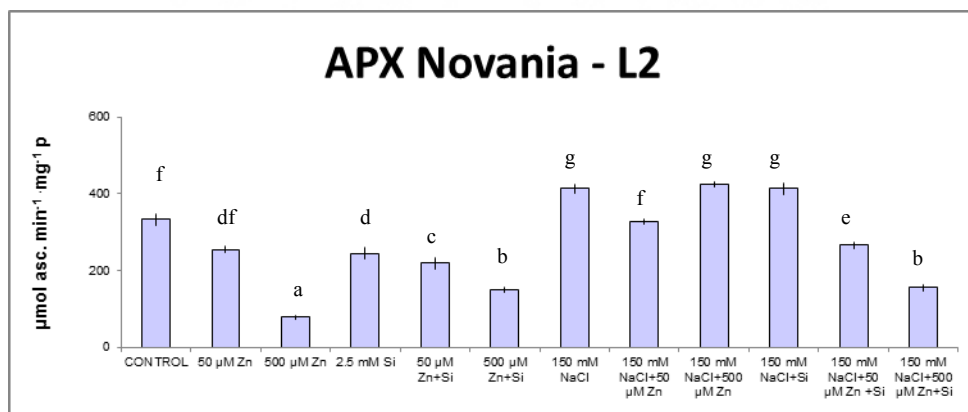
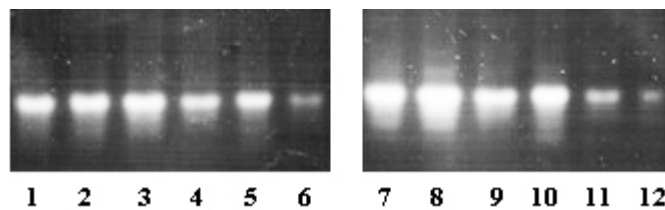
U mladých 12 dňových rastlín hybridu Novania sme v nadzemnej časti v prvom a druhom liste zistili 4 rovnako zreteľné izoformy superoxididismutázy (Obr. 1). Oproti kontrole (1) sme zaznamenali intenzívnejší obraz v prítomnosti NaCl, rovnako ako Manna et al. /7/ u žeruchy satej (*Lepidium sativum* L.). Zn, Si a ani ich kombinácia nemali výrazný vplyv na intenzitu obrazu, okrem variantu 12. Po pridaní 2mM KCN ako inhibítora Cu-Zn SOD a 5 mM H₂O₂ ako inhibítora FeSOD (tu nepublikované výsledky) zostal obraz MnSOD. Pôsobením zinku sa aktivita superoxididismutázy v prvom liste mierne zvýšila (Obr. 2), v kombinácii s kremíkom došlo k výraznejšiemu nárastu aktivity SOD v prípade 500 µM Zn. Samotný Si ne spôsobil zvýšenie aktivity v porovnaní s kontrolou, ale nepriniesol zlepšenie negatívneho vplyvu Zn na rastlinné orgány. U variantov s NaCl je obraz aktivity nasledovný: samotný NaCl spôsobil nárast aktivity, rovnako aj 500 µM Zn a kombinácia soli s Si a Zn. Pri variante 12 (150 mM NaCl + 500 µM Zn + 2,5 mM Si) sme zaznamenali najmarkantnejšie zväčšenie aktivity sledovaného enzýmu. Meng et al. /8/ uvádzajú vyššiu aktivitu SOD v listoch cesnaku kuc hynského (*Allium sativum* L.) pestovaných v prítomnosti 1 mM Cu²⁺. Chugh et al. /6/ zistili v listoch tolerantných genotypov kukurice vplyvom sucha ako stresora nezmenenú, alebo slabú zvýšenú aktivitu SOD. Nízka aktivita izoenzýmov SOD v druhom liste je podporená vysokou aktivitou APX (Obr. 3) v tomto orgáne (H₂O₂ pôsobí ako inhibítor Cu-Zn SOD). Podľa /6/ sucho spôsobuje zvýšenú aktivitu APX u rastlín kukurice s tolerantným genotypom. Izoenzýmový obraz askorbátperoxidázy po ukazuje na výraznú akumuláciu jednej izoenzýmovej formy (pravdepodobne cytosolickej) a jej oslabenie vplyvom vysokej koncentrácie Zn (6, 12), potvrdené zmenami aktivity. Očakávaný pozitívny vplyv Si na zníženie toxicity Zn a/alebo NaCl sme zaznamenali pri sledovaní hladiny MDA v druhom liste, v porovnaní s pôsobením NaCl, Zn a ich kombinácie. V prvom liste je hladina MDA vyššia pri variantoch s NaCl. Gosett /4/ udáva zvýšenú akumuláciu MDA v podmienkach zasolenia u bavlníka (*Gossypium hirsutum* L.).



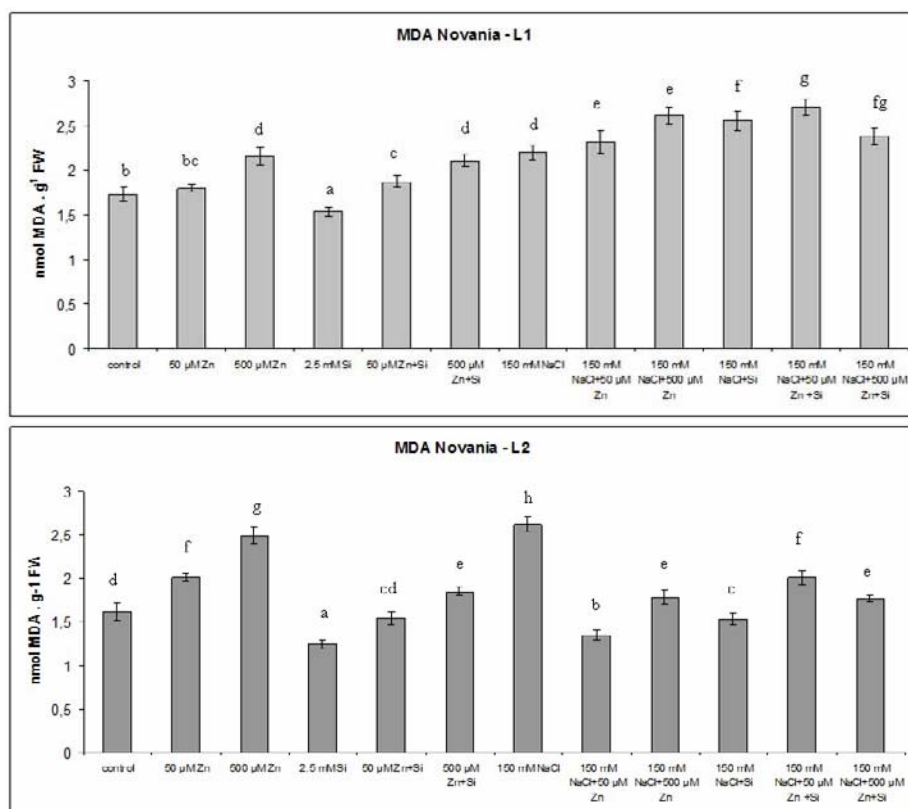
Obr. 1: Izoenzýmový obraz SOD v L1, celkový vľavo, s inhibítorm Cu-Zn SOD, 2 mM KCN vpravo, vzorky 1–6 bez NaCl, vzorky 7-12 s NaCl.



Obr. 2: Aktivita superoxidodismutázy v prvom liste hybridu Novania.



Obr. 3: Izoenzýmový obraz a aktivita APX v druhom liste hybridu Novania.



Obr. 4: Obsah MDA v L1 a L2.

LITERATÚRA

- 1/ Bradford, M.M.: A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilising the principle of protein dye bindings. *Analytical Biochemistry*, 72, 1976: 248–254.
- 2/ Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A.: Zinc in plants. *New Phytologist*, 173, 2007: 677–702.
- 3/ Donahue, J.L., Okpodu, C.M., Camer, C.L., Grabau, E.A., Alischer, R.G.: Responses of antioxidants to paraquat in pea leaves. *Plant Physiology*, 113, 1997: 249–257.
- 4/ Gossett, D.R., Millhollon, E.P., Lucas, M.C.: Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Science* 34, 1994b: 706–714.
- 5/ Hoagland, D.R., Arnon, D.I.: *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. Circular 347 – California Agricultural Experiment Station. College of Agriculture, University of California, Berkeley, 1950: 31.
- 6/ Chugh V., Kaur, N., Gupta, A.K.: Evaluation of oxidative stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) seedlings in response to drought. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 48, 2011: 47–53.
- 7/ Liang, Y., Sun, W., Zhu Y.-G., Christie, P.: Mechanism of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environmental Pollution*, 147, 2007: 422–428.
- 8/ Manaa, A., Mimouni, H., Terras, A., Chebil, F., Wasti, S., Gharbi, E., Ahmed, H. B.: Superoxide dismutase isozyme activity and antioxidant responses of hydroponically cultured *Lepidium sativum* L. to NaCl stress. *Journal of Plant Interactions*, 9 (1), 2014: 440–449.
- 9/ Nakano, Y., Asada, K.: Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiology*, 22, 1981: 867–880.
- 10/ Pithero, R.G., Rao M.V., Paliyath, G., Murry D.P., Fletcher, R.A.: Changes in activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiology*, 114, 1997: 695–704.
- 11/ Sairam, R.K., Srivastava, G.C.: Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): Variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 2001: 63–70.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0140-10 a projektom VEGA grant č. 2/0022/13.

VPLYV SUCHA NA RAST, OBSAH PROLÍNU A FOTOSYNTETICKÝCH PIGMENTOV V PŠENICI

DROUGHT EFFECT ON GROWTH, CONTENT OF PROLINE AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN WHEAT.

Zuzana Gregorová¹, Marína Maglovská², Patrik Mészáros¹, Roman Kuna¹, Pavol Hauptvogel³, Ildikó Matušiková²

¹Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, fakulta prírodných vied, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie mládeže 91, 949 74 Nitra, Slovenská republika, e-mail: zuzana.gregorova@ukf.sk

²Slovenská akadémia vied, Ústav genetiky a biotechnológii rastlín, Akademická 2, P. O. BOX 39/A, 950 07 Nitra, Slovenská republika, e-mail: ildiko.matusikova@savba.sk

³Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby, Bratislavská 122, 921 68 Piešťany, Slovenská republika, e-mail: hauptvogel@vurv.sk

Summary

Drought is one of the most important abiotic stress factors that limit plant growth and productivity worldwide. In this work, we focused on studying of drought effect on wheat plants. In stressed plants we observed increasing the length of roots, inhibition of shoot growth, increasing the number of stomata and reducing of their growth parameters. Impact of water-insufficiency on stressed plants included synthesis of free proline molecules in roots. Moreover, we also observed that content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*) and carotenoids were decreased in the leaves of stressed plants. Due to loss of chlorophylls, there are significant damages in photosynthesis.

Key words: wheat, drought, growth parameters, stomata, photosynthetic pigments

Súhrn

Sucho je jedným z najdôležitejších abiotických faktorov, ktoré celosvetovo limitujú rast a produktivitu rastlín. V tejto práci sme sa venovali štúdiu vplyvu sucha na rastliny pšenice letnej. V prípade stresovaných rastlín sme pozorovali predĺženie koreňov, inhibíciu rastu výhonkov, nárast počtu prieduchov a zmenšenie ich veľkosti. Vplyvom nedostatočnej závlahy stresované rastliny syntetizovali molekuly voľného prolínu v koreňoch. Okrem iného sme tiež pozorovali zníženie obsahu fotosyntetických pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b*) a karotenoidov v listoch stresovaných rastlín, v dôsledku čoho dochádza k významným poruchám vo fotosyntéze.

Kľúčové slová: pšenica, sucho, rastové parametre, prieduchy, fotosyntetické pigmenty

ÚVOD

Nízka dostupnosť vody je považovaná za hlavný environmentálny faktor limitujúci rast a výnosnosť rastlín na celom svete. Rastliny sú schopné vyhnúť sa devastujúcim podmienkam sucha maximálnou absorpciou vody pomocou zakladania koreňovej sústavy do hĺbky alebo minimalizovaním strát vody prostredníctvom uzavretia prieduchov a zmenšením listovej plochy / 5, 7/. Tvrdo uzavretie prieduchov je prvou reakciou na akútne deficit vody / 8/, pričom predstavuje obrannú reakciu/stratégiu prijatú rastlinami na ochranu vodného potenciálu a udržanie turgoru v bunkách rastlinných pletív/14/. Okrem iného nedostatok vody má vplyv na frekvenciu výskytu prieduchov a ich veľkosť /13/. Je dobre známe, že sucho má taktiež dopad na jeden z primárnych fyziologických aspektov – fotosyntézu. V dôsledku

uzavretia prieduchov je difúzia CO₂ z atmosféry v mieste karboxylácie redukovaná. Tento jav je často považovaný za hlavnú príčinu zníženej fotosyntézy v podmienkach sucha /6,11/.

V práci sme sa zamerali na štúdium vplyvu sucha na vybrané ukazovatele u pšenice letnej. U rastlín rastúcich v pôdnom substráte sme vyhodnocovali dĺžku koreňov a výhonkov, hustotu a rozmery prieduchov na oboch stranách listov. Ďalej sme stanovili obsah voľného prolínu v koreňoch a koncentrácie fotosyntetických pigmentov (chlorofylu *a*, chlorofylu *b*) a karotenoidov v listoch pšenice. Na základe našich výsledkov sme zhodnotili dopady sucha (v podobe zníženej zálievky) na stresované rastliny pšenice v porovnaní s kontrolnými variantmi.

MATERIÁL A METÓDY

Zrná pšenice letnej (*Triticum aestivum*, cv. SK-196) sme vysiali do črepníkov (Ø 30 cm) s obsahom 1700 g pôdy rašelinového typu. Rastliny pšenice (60) sme kultivovali pri teplote 22/15 °C deň/noc, pri svetelnej perióde 16/8 hodín svetlo/tma po dobu 7 mesiacov s pravidelnou zálievkou (750 ml destilovanej vody/trikrát za týždeň). Na sadu stresovaných rastlín sme počas 3 týždňov aplikovali zníženú dávku vody (250 ml).

Merali sme dĺžku koreňov a výhonkov experimentálnych rastlín pšenice.

Obsah voľného prolínu sme stanovili z čerstvej vzorky koreňov a výhonkov (0,2 g). Použili sme reakčnú zmes s obsahom: 1 % (w/v) ninhydrínu v 60 % (v/v) kyseliny octovej, 20 % (v/v) e tanolu. Po inkubácii vzoriek pri teplote 95 °C po dobu 20 minút a následnom ochladení sme merali absorbanciu pri $\lambda = 520 \text{ nm}$ /3/.

Pomocou odťahkovej metódy sme stanovili počet prieduchov, ako aj nestomatálnych epidermálnych buniek a obsah stranách listov pod svetelným mikroskopom typu Zeiss Axioplan 2. Ich veľkosť resp. rozmery sme dokumentovali pomocou kamery Sony DXC-S500 v 3 zorných poliach (870 × 650 μm).

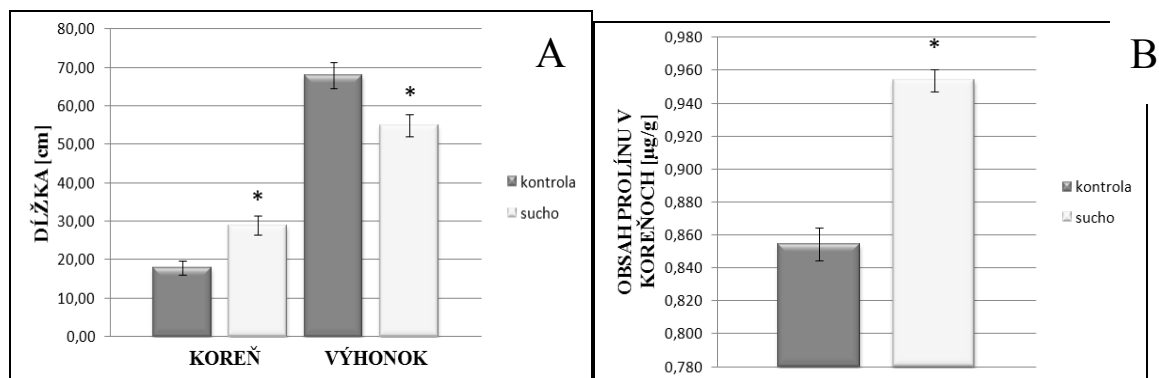
Koncentráciu chlorofylu *a* (Chl *a*), chlorofylu *b* (Chl *b*) a celkových karotenoidov (Car) sme stanovili spektrofotometricky (ULTROSPEC 1000). Špičky listov (0,05 g) sme homogenizovali v tretej miske v 80 % acetóne (6 ml) spolu s uhličitanom horečnatým (0,05 g). Získaný acetónový extrakt obsahuje kvantitatívne prítomné fotosyntetické pigmenty. Absorbanciu sme merali pri vlnových dĺžkach svetla (663 nm, 646 nm, 470 nm).

Kvantitatívne výsledky experimentu sme vyjadřili ako priemery relatívnych hodnôt kontrolných a stresovaných vzoriek \pm smerodajné odchýlky. Získané hodnoty sme podrobili štatistickému vyhodnoteniu pomocou Studentovho t-testu.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Deficit vody spôsobuje zmeny na rôznych úrovniach rastlinného organizmu. Pôdne sucho obmedzuje rast a tvorbu biomasy rastlín. V našom experimente sme zaznamenali štatisticky významné dopady sucha na rastové parametre (Obr. 1A). Zaznamenali sme výrazné predĺženie koreňov (Obr. 1A), ktoré umožňuje zväčšenie plochy pre prijímanie dostupnej vody z hĺbky pôdy /12/. Na druhej strane, stresované výhonky boli jednoznačne kratšie ako výhonky rastlín s pravidelným prísunom závlahy (Obr. 1A). Ďalej sme zaznamenali usychanie špičiek a okrajov listov, ale i celkové vädnutie výhonkov.

Prolín predstavuje typickú molekulu syntetizovanú pri strese. Zvyčajne sa hromadí v cytosóle, kde prispieva k osmotickému prispôbeniu v reakcii na stratu vody /1/. Obsah prolínu v koreňoch stresovaných rastlín zodpovedá miere stresu, pričom nami namerané hodnoty vykazujú štatistickú preukaznosť na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ (Obr. 1B). Podobné výsledky boli zaznamenané testovaním viacerých odrôd pšenice a kukurice na nedostatok vody /10, 15/.



Obr. 1: Hodnoty dĺžky koreňov a výhonkov (A) a obsah prolínu v koreňoch (B) kontrolných a suchom stresovaných rastlín pšenice. Hladina významnosti rozdielov: * $P < 0,05$.

Jednou z prvých fyziologických reakcií rastlín na deficit vody je okamžité a trvalé uzavretie prieduchov, ktoré vedie k prevencii pred ďalšími stratami vody v procese transpirácie [8]. Rovnako aj počet a veľkosť prieduchov sú závislé od nepriaznivých abiotických vplyvov. Prieduchový aparát taktiež reaguje na zmeny vodného potenciálu pletív resp. na nárast koncentrácie kyseliny abscisovej (ABA). Pri sledovaní veľkosti prieduchov v pokožke listov s tresovaných rastlín pšenice sme zistili, že šírka prieduchov na abaxiálnej (spodnej) strane a dĺžka prieduchov na oboch stranách listov bola štatisticky významne nižšia (Tab. 1). Skrátenie resp. zmenšenie prieduchov v oboch rozmeroch spolu s vyšším výskytom prieduchov je prejavom obranného mechanizmu rastliny voči suchu.

Tab. 1: Priemerné hodnoty dĺžky a šírky prieduchov [μm] na vrchnej a spodnej strane listov pšenice.

PARAMETRE PRIEDUCHOV	VRCHNÁ POKOŽKA		SPODNÁ POKOŽKA	
	dĺžka	šírka	dĺžka	šírka
KONTROLA	107,93 ± 8,47	48,37 ± 7,24	102,84 ± 8,23	59,66 ± 5,37
SUCHO	99,89 ± 5,91*	47,34 ± 4,89	96,91 ± 6,85*	51,92 ± 5,22*

Hodnoty zodpovedajú aritmetickému priemeru ± smerodajná odchýlka ($n = 33$). Hladina významnosti rozdielov: * $P < 0,05$.

Uzavretie prieduchov v reakcii na nedostatok vody závisí nielen o poklesom transpirácie, stomatálnej vodivosti, ale i o poklesom intenzity fotosyntézy [4, 9]. Pri rastlinách s úbytkom vody sme zaznamenali znížený obsah chlorofylu *a*, chlorofylu *b* ako aj karotenoidov.

Tab. 2: Rozdiel v obsahu chlorofylov a karotenoidov v listoch kontrolných a suchom stresovaných rastlín pšenice letnej.

PARAMETER [mg/g]	KONTROLA	SUCHO
chlorofyl a	2,85 ± 0,72	1,51 ± 0,53*
chlorofyl b	0,90 ± 0,17	0,55 ± 0,10*
Karotenoidy	0,58 ± 0,28	0,29 ± 0,09
celkový obsah chlorofylov	1,87 ± 0,45	1,03 ± 0,32*
chlorofyl a+b/karotenoidy	3,21 ± 1,62	3,59 ± 7,36

Hodnoty zodpovedajú aritmetickému priemeru ± smerodajná odchýlka ($n = 5$). Hladina významnosti rozdielov * $P < 0,05$

Výsledky nášho experimentu poukazujú na to, že nedostatok vody má vplyv na parametre rastu, rozmery prieduchov, ako aj koncentráciu prolínu v koreňoch. Výrazné rozdiely sme zaznamenali aj v prípade obsahu fotosyntetických pigmentov v listoch pšenice.

Testovaná skupina kontrolných a suchom stresovaných rastlín bude podrobená ďalším analýzám s cieľom odhaliť mechanizmy obrany na molekulárnej úrovni.

LITERATÚRA

- /1/ Ashraf, M.Y., Foolad, M.R.: Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 2007: 206 – 216.
- /2/ Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A.: The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment*, 31, 2008: 11–38.
- /3/ Bates, L.S., Waldran, R.S., Teare, I.D.: Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 1973: 205–208.
- /4/ Bota, J., Flexas, J., Medrano, H.: Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? *New Phytologist*, 162, 2004: 671–681.
- /5/ Chaves, M.M., Maroco, J.S., Pereira, J.S.: Understanding plant responses to drought – from genes to whole plant. *Functional Plant Biology*, 30, 2003: 239–264.
- /6/ Chaves, M.M., Flexas, J., Pinheiro, C.: Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103, 2009: 551–560.
- /7/ Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G.: Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *Botanical Review*, 68, 2002: 270–334.
- /8/ Mansfield, T.J., Atkinson, C.J.: Stomatal behaviour in water stressed plants. In: Ascher, R.G., Cumming, J.R. (eds): *Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms*. Wiley-Liss, New York, 1990: 241–264.
- /9/ Munns, R.: Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, 25, 2002: 239–250.
- /10/ Nayyar H.: Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays*) affected by calcium and its antagonists. *Environmental and Experimental Botany*, 50, 2003: 253–64.
- /11/ Peeva, V., Čornić, G.: Leaf photosynthesis of *Haberlea rhodopensis* before and during drought. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 2009: 310–318.
- /12/ Sharp, R.E., Davies, W.J.: Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In: *Plant under Stress: Biochemistry, Physiology, and Ecology and their Application to Plant Improvement*. Cambridge University Press, Cambridge, 2009: 71–94. ISBN 9780511661587.
- /13/ Sing, S., Sethi G.S.: Stomatal size, frequency and distribution in *Triticum aestivum*, *secale cereale* and their amphiploids. *Cereal Research Communications*, 23, 1995: 103–108.
- /14/ Skirycz, A., Inze, D.: More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology*, 21, 2010: 1–7.
- /15/ Zhu, X., Gong, H., Chen, G., Wang, S., Zhang, C.: Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. *Journal of Arid Environments*, 62, 2005: 1–14.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0197-10 a v rámci riešenia projektu VEGA 1/0509/12 a KEGA 044UKF-4/2012.

NÁVRH POSTUPU VÝPOČTU ZÁSoby VODY V KOŘENOVÉ ZÓNĚ PLODIN V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH

THE PROPOSAL OF THE CALCULATION OF WATER SUPPLY IN ROOT ZONE OF CROPS IN FARMS

Jan Haberle, Pavel Svoboda

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 16106 Praha 6, Česká republika,
haberle@vurv.cz

Summary

The approach to estimation of available soil water supply in root zone of crops under farm conditions is presented in the paper. Results of calculated and observed water content at the layer 0-130 cm at the start of and during growth at several sites with different soil-climate conditions are shown.

Key words: rooting depth, evapotranspiration, soil water capacity

Souhrn

V příspěvku je prezentován návrh postupu pro odhad dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin v provozních podmínkách. Jsou uvedeny výsledky porovnání vypočteného a pozorovaného obsahu vody na počátku a v průběhu růstu na několika lokalitách s odlišnými půdně-klimatickými podmínkami.

Klíčová slova: hloubka kořenů, evapotranspirace, vodní kapacita půdy

ÚVOD

Častý výskyt kratších a delších období sucha, s dopady na výnos a kvalitu plodin, zvyšuje zájem pěstitelů o problematiku vody v půdě. I přes velký objem poznatků plodinového a hydropedologického výzkumu v dané oblasti zemědělci nemají nástroj pro odhad zásoby a využití vody v kořenové zóně plodin na konkrétních pozemcích. Zásoba avyčerpání vody se odhaduje na základě zkušeností s reakcí plodin na daném pozemku při určitém průběhu počasí. Zemědělci potřebují informaci, jak velká je tato dostupná zásoba a jak dlouho postačí pro porost dané plodiny při určitém průběhu počasí, než se nedostatek vody projeví redukcí růstu a výnosu.

V tomto příspěvku prezentujeme přístup k výpočtu dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin na počátku růstu v provozních podmínkách. Vycházíme ze skutečnosti, že v našich klimatických podmínkách se vlhkost půdy na jaře blíží úrovni polní vodní kapacity (PVK) nebo lze odhadnout míru (ne)naplnění této zásoby v případě nedostatku srážek v meziporostním období. Předpokladem aplikace výpočtu v praxi je aktivní přístup uživatele, který by se měl snažit získat více relevantních údajů o povětrnostních podmínkách, půdě a plodinách. Řada pěstitelů například již má k dispozici vlastní automatické meteorologické stanice, které kromě srážek měří i údaje potřebné pro výpočet potenciální evapotranspirace.

Potřebné vstupní údaje, jejich dostupnost a možnost náhrady v provozních podmínkách:

1. Základní hydrolimity vrstev půdy určující využitelný, fyziologicky dostupný podíl z celkového objemu vody, který je půda schopna zadržet po delší dobu (polní vodní kapacita,

PVK). Využitelná vodní kapacita (VVK) je standardně určena jako rozdíl PVK a bodu vadnutí (BV).

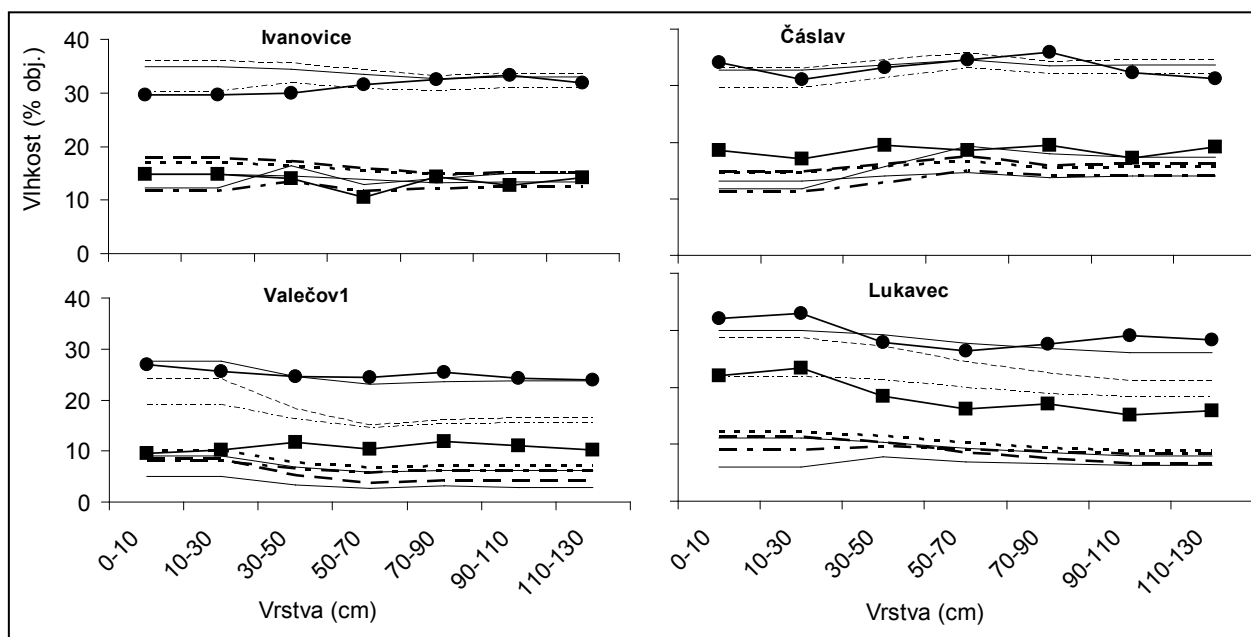
2. Míra naplnění zásoby vody (z možného objemu vody určené hodnotou PVK) v kořenové zóně k danému termínu.

3. Hloubka kořenového systému, případně distribuce kořenů (hustota) ve vrstvách půdního profilu.

4. Distribuce příjmu vody, tj. jaký podíl z objemu vody určeného hodnotou VVK dokáže porost plodiny využít z jednotlivých vrstev kořenové zóny.

1. Vodní kapacita půdy

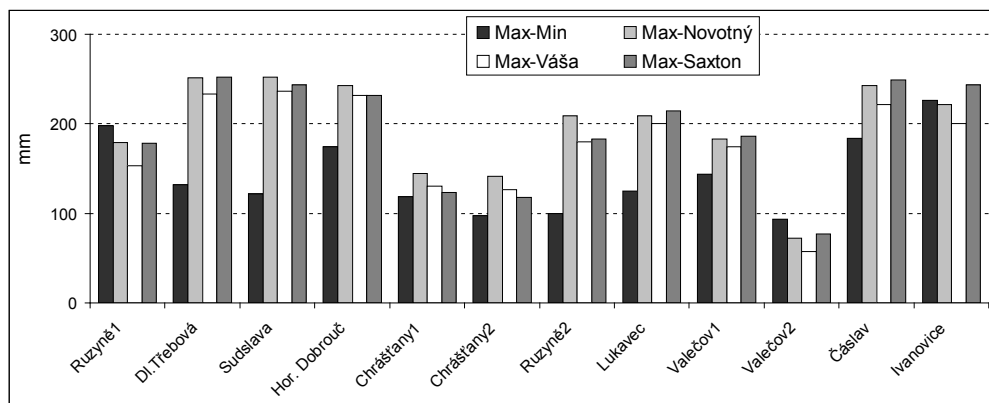
Hodnoty PVK a BV vrstev ornice a podorničí nemá pěstitel běžně k dispozici. Pro určení hydrolimit lze využít jednoduché pedostransferové funkce (PTF), založené na obsahu zrnitostní kategorie I. (< 0,01 mm) nebo obsahu fyzikálního jílu (< 0,001 mm). Na obr. č. 1 je porovnání hodnot objemu vody ve vrstvách půdy do 130 cm na vybraných lokalitách na počátku jara a v období zrání (2011– nebo 2012–2013) s hodnotami vypočtenými pomocí PTF /3, 4, 6, 7/. Podle očekávání plodiny většinou nevyčerpaly vodu na úroveň BV, lepší shoda byla mezi PVK a pozorovaným obsahem vody na jaře. Jsou však patrné rozdíly i mezi výstupy PTF na písčito-hlinitých a hlinito-písčitých půdách (Valečov, Lukavec).



Obr.1: Porovnání vypočtených hodnot PVK (vyšší hodnoty) a BV (nižší hodnoty) podle různých autorů a nejvyšších a nejnižších hodnot pozorovaných v letech 2012–2013 (body).

Zrnitostní rozbor lze zadat specializovaným laboratořím, v některých podnicích mají mapy a podklady z dřívějších let (KPP, výběrové sondy), které lze využít. V případě, že není k dispozici zrnitostní rozbor, lze podle půdního druhu přiřadit hodnoty PVK a BV (vypočtené pomocí uvedených PTF). Existují postupy pro odhad zrnitostního složení a půdního druhu (hmatová metoda, zjednodušený sedimentační test) a PVK (zavlažením), ale spolehlivost výpočtu hydrolimit se při jejich použití bude snižovat. Podle některých zdrojů je přímé určení vlhkosti půdy po dostatečně vlhké zimě na počátku jara přesnější než laboratorní postupy měření PVK. V případě dostatečně vlhkého podzimu a zimy je vlhkost půdy blízká PVK. Gravimetrickou vlhkost půdy je možné stanovit i bez speciálního vybavení, objemovou hmotnost půdy lze odhadnout z typických hodnot pro daný půdní druh a typ, při zohlednění případného utužení, nebo určit pomocí zjednodušeného terénního postupu.

Na obrázku č. 2 je porovnání celkové VVK ve vrstvě 0–130 cm vypočtené jako rozdíl nejvyššího a nejnižšího obsahu vody v jednotlivých vrstvách a obsahu vody vypočtenému jako rozdíl mezi nejvyšším pozorovaným obsahem vody a BV vypočteným pomocí uvedených PTF. Výpočet založený na pozorovaných hodnotách (v letech 2011- nebo 2012-2013) byl ovlivněn nevyčerpáním vody na úroveň BV (z důvodu menší potřeby nebo menší hloubky a nízké hustoty kořenů v hlubších vrstvách podoorníci). V uvedených letech navíc nebyly všude podmínky pro naplnění zásoby vody na úroveň PVK, povrchové vrstvy v době odběru již začaly vysychat. Výsledky ukazují, že BV je nezbytné počítat na základě zrnitosti půdy, u PVK jsou mezi některými PTF rozdíly (zvláště u lehčích půd) a proto je vhodné ověřit výpočet odběrem půdy na počátku jara nebo přímým určením PVK pomocí zavlažení.



Obr.2: Porovnání hodnot VVK vypočtených jako rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší pozorovanou úrovní obsahu vody ve vrstvách půdy do 130 cm (Max-Min) nebo jako rozdíl mezi hodnotou Max a BV vypočteným pomocí vybraných PTF (označeno autorem).

2. Naplnění objemu vody na PVK

Výpočet vychází z množství efektivních srážek (voda, která infiltruje do půdy) v průběhu meziporostního období, od podzimu do konce zimy a začátku jara, snížené o výpar, případně evapotranspiraci (ET). Někteří autoři ET v průběhu zimy opomíjejí. Povrchový odtok vody je možné vypočítat z intenzity srážek a svažitosti pozemku a upravit podle pozorování na konkrétním pozemku (přivalové srážky, stékání vody po zamrzlé půdě). V případě nízkých meziporostních srážek, které nestačí pro doplnění objemu vody na úroveň PVK, je určení složité, vlhkosti půdy na podzim závisí na druhu plodiny a letních-podzimních srážkách. Nejpřesnější je v takovém případě určit vlhkost půdy přímo. Využitelný obsah vody v půdě redukuje přítomnost skeletu, který lze přibližně odvodit z BPEJ a nebo ho lze i v provozních podmínkách určit přímo, vyplavením vzorku půdy o známé hmotnosti na 2 mm síť.

3. Hloubka a distribuce kořenů v půdě

Vycházíme z předpokladu, že maximální dostupná zásoba vody je závislá na hloubce kořenové zony a distribuci kořenů. Vzhledem k plasticitě kořenového systému, reakci na omezující podmínky v půdě, nelze pro jednotlivé druhy plodin použít jednu všeobecně platnou hodnotu hloubky kořenů. V běžných podmínkách se hloubka a hustota kořenů daného druhu pohybuje v určitém rozmezí [5]. Většina našich půd patří mezi středně těžké a hlinitopísčité půdy, proto s určitou mírou nejistoty lze vzít jako základ průměrnou hodnotu a tu snížit podle výskytu nepříznivých faktorů nebo naopak zvýšit v případě optimálních podmínek pro růst kořenů. Sledování hloubky kořenů v provozních podmínkách je možné na stěnách výkopů pro vedení inženýrských sítí nebo i rozplavením vzorků půdy odebraných půdním vrtákem.

4. Distribuce využití vody z vrstev kořenové zóny

Odběr vody a živin z vrstev kořenové zóny (distribuce příjmu) závisí na řadě faktorů. Využití vody z hlubších vrstev závisí především na požadavku porostu na vodu, rychlosti růstu kořenů do hloubky, hustotě kořenů v jednotlivých vrstvách a fyzikálních vlastnostech půdy. V případě, že potřeba vody není plně saturována z povrchových vrstev s vysokou hustotou kořenů využívají rostliny rezervu vody v hlubších vrstvách /2/. Protože nás zajímá největší možné využití vody lze využít jako ukazatel čerpání zásoby vody nejnižší pozorované hodnoty vlhkosti půd v suchých letech. Podle našich výsledků a literárních údajů se hustota kořenů plodin snižuje přibližně exponenciálně /1/ a na základě této distribuce kořenů lze odhadovat maximální využití zdrojů v hlubších vrstvách /5/. Opět zde jde o nezbytné zjednodušení, protože experimentální určení distribuce kořenů a především příjmu v provozních podmínkách není reálné. V posteru /5/ jsme se pokusili s využitím údajů o distribuci kořenů odhadnout potenciálně dostupnou zásobu vody pro vybrané plodiny.

Postup na vržený v bo dech 1 -4 byl použit pro vytvoření programu, který se v současnosti ověřuje.

LITERATURA

- /1/ Haberle, J., Svoboda, P.: Dopad použití exponenciálních modelů distribuce kořenů v půdním profilu na využití vody a výnosy pšenice simulované plodinovým modelem na dvou půdách. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Středová, H., Středa, T. (eds): Voda, půda a rostliny. Křtiny, 29.–30.5. 2013: 1–13. (CD).
- /2/ Haberle, J., Svoboda, P.: Distribuce kořenů pšenice v půdním profilu a v užitelná zásoba dusíku a v ody. Úroda, 60, 2012, vědecká příloha časopisu, (CD): 79–84 .
- /3/ Novotný, M., Kervališvili, D.M., Šanta, M.: Závlaha poľných a špeciálnych plodín. 1. vyd. Príroda, Bratislava, 1990: 312.
- /4/ Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., Papendick, R.I.: Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, 50, 1986: 1031–1036.
- /5/ Svoboda, P., Haberle J.: Dostupná zásoba vody v půdě ve vztahu k hloubce a distribuci kořenů vybraných plodin. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, 10–11.9.2014, Zvolen. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, Ústav ekologie lesa Slovenskej akademie vied, Zvolen, 2014: 1-4.
- /6/ Váša, J.: Půdní vláhové charakteristiky. Vodohospodársky Časopis SAV, 8, 1960: 235–243.
- /7/ Váša, J.: Měření výparu z vodní hladiny. Vodní Hospodářství, 8 (6), 1958: 174.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu Národní zemědělské agentury pro zemědělský výzkum QI111C080 a Výzkumného záměru MZE0002700604.

***ACER PALMATUM 'ATROPURPUREUM' A PINUS NIGRA
POŠKODENÉ MIKROSKOPICKOU HUBOU CONIOCHAETA
PRUNICOLA***

***ACER PALMATUM 'ATROPURPUREUM' AND PINUS NIGRA DAMAGED BY
FUNGUS CONIOCHAETA PRUNICOLA***

Helena Ivanová

Ústav ekológie lesa SAV Zvolen, Pobočka biológie drevín, Akademická 2, Sk-949 01 Nitra,
Slovenská republika, e-mail: helena.ivanova@sav.savzv.sk

Summary

During an investigation on mycoflora of Japanese red maple trees and black pines growing in urbanized area of Nitra city, the fungus of the class Coelomycetes (*Coniochaeta prunicola* Damm & Crous) from affected leaves and branches of *Acer palmatum* 'Atropurpureum' L. and from needle of *Pinus nigra* Arnold was isolated and noticed. This fungus was associated with symptoms of brown wood discoloration and leaves spottiness of these trees. *C. prunicola* which was recorded for the first time on *Acer palmatum* 'Atropurpureum' and on *Pinus nigra* in Slovakia is relatively uncommonly. The fungus is characterized by dark brown ascomata clothed with setae, the asci asciculate, unilocular, cylindrical and broadly almond-shaped, ellipsoidal ascospores with a longitudinal germ slit.

Key words: Coniochaeta prunicola, Japanese red maple, Pinus nigra

Súhrn

Počas výskumu mykoflóry japonských javorov a borovic čiernych rastúcich v urbanizovanom prostredí mesta Nitra bol izolovaný a popísaný huba triedy Coelomycetes – *Coniochaeta prunicola* Damm & Crous. Huba, ktorá bola na *Acer palmatum* 'Atropurpureum' ako aj na borovici čiernej na Slovensku zaznamenaná po prvý raz sa prejavovala symptómami diskolorácie dreva a listovými škvrnitostami. Jej charakteristickou črtou sú tmavohnedé plodničky pokryté štetinkami, jednovrstvové cylindrické vrecká obsahujúce osem elipsoidných askospór mandľového tvaru s pozdĺžnym klíčnym otvorom.

Kľúčové slová: borovica čierna, Coniochaeta prunicola, japonský javor

ÚVOD

Huby triedy Coelomycetes možno charakterizovať ako druhy, ktoré sú tolerantné na stres. Preto môžu rásť, reprodukovať sa a prežívať v širokom spektre ekologických situácií. Možno ich nájsť v pôde, na opadanom listí a na rôznych organických zvyškoch z prirodzených zdrojov, v slanej ako aj čerstvej vode. Často sa spájajú s ochorením mnohých typov cievnatých rastlín, často v spojení s inými organizmami /11, 16/. Kmene a konáre ovocných a okrasných drevín v posledných rokoch osídľujú huby, ktoré sú schopné migrácie medzi týmito rozličnými hosťiteľmi/3, 19/. Ich účinky sú často spojené s prejavmi

diskolorácie dreva a so vznikom rôznych listových škvrnitostí, ktoré sa okrem estetických zmien podieľajú aj na celkovom chradnutí dreveniny.

MATERIÁL A METÓDY

Vzorky listov a konárov *Acer palmatum* 'Atropurpureum' a vzorky ihličia *Pinus nigra* so symptómami poškodenia zozbierané počas leta a jesene 2013 pochádzali z verejných plôch a zo súkromných záhrad mesta Nitra. Nachádzajú sa v depozite Herbára Ústavu ekológie lesa SAV, Pobočka biológie drevín, Nitra. Na izoláciu a získanie čistých kultúr sa použili klasické fytopatologické postupy. Časti poškodených listov a ihličiek sa po sterilizácii uložili na 3 % médium PDA, kultivovali sa pri 24±1°C a 45 % vlhkosti, v tme, v testovacej miestnosti MLR-351H (Sanyo). Štruktúry húb sa sledovali klinickým mikroskopom BX41 (Olympus) pri 400× a 1000× zväčšení. Čisté kultúry izolovaných húb sa identifikovali podľa ich kultúrnych vlastností, morfológických a mikroskopických charakteristík za použitia rozličných morfológických kľúčov podľa [1, 4, 6, 7, 14, 16] a morfológických štúdií podľa [3, 5, 12, 18].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Druhy rodu *Coniochaeta* možno nájsť na mnohých rôznych substrátoch a hostiteľoch (na dreve a kôre, na listoch a na listovom opadom rôznych drevín, v hnoji rôznych zvierat, v pôde i vo vode). Druhy sú charakterizované tmavohnedými až čiernymi povrchovými, sférickými, hruškovitými alebo okrúhlymi plodničkami, ktoré môžu byť, ale aj nemusia byť s otvormi. Plodničky, zvyčajne pokryté pevnými štetinkami obsahujú jednovrstvové cylindrické vrecká bez amyloidu. Vrecká po uvoľnení z plodničky tvoria ružice, pričom sa medzi nimi nachádzajú málopočetné paralýzy. V každom vrecku sa nachádza osem hladkých, tmavohnedých, jednoduchých diskovitých až elipsoidných askospór mandľového tvaru klíčiacich pozdĺžnym klíčnym otvorom [6, 5, 14].

Podľa [12] druhy *Coniochaeta* sú pri mnohých hostiteľoch známe svojou nízkou virulenciou, zvyčajne sa objavujú na odumretom pletive alebo ako oportunisti už predtým infikovaných, zranených a lebo prestarnutých plietív. Huba *C. prunicola* pri morfológickom porovnaní s druhmi vyskytujúcich sa na rozličných drevinách [3, 9, 10, 11, 13] nejaví podstatné rozdiely vo veľkosti a tvare plodničiek a spór. *C. prunicola* je podobná hube *Coniochaeta malacotricha* (Niessl) T rav., izolovanej z dreva *Pinus sylvestris* [8], tá však obsahuje osmospórové vrecká s hnedeými a skospórami, v strede ktorých sa nachádzajú tmavohnedé olejové kvapky. Základné morfológické charakteristiky húb izolovaných z rôznych hostiteľov sú podané v Tab. 1.

Tab. 1: Porovnanie morfológických charakteristík huby *Coniochaeta prunicola* identifikovanej na rôznych hostiteľoch

Authori	Experimentálny materiál		/1/	/9/	/10/	/3/
Hostiteľ	<i>Acer palmatum</i> /listy, konáriky	<i>Pinus nigra</i> /hlice	<i>Prunus cerasus</i> /listy	<i>Persica vulgaris</i> /listy	<i>Laurocerasus officinalis</i> /konáriky, listy	<i>P. armeniaca</i> , <i>P. salicina</i> /drevo
Huba	<i>C. prunicola</i>	<i>C. prunicola</i>	<i>C. prunicola</i>	<i>C. prunicola</i>	<i>C. prunicola</i>	<i>C. prunicola</i>
Plodničky	Peritécium, okrúhle až hruškovité, jednotlivé 200-250×165-200 μm, hrdlo 30-50 μm	Peritécium, okrúhle až hruškovité, jednotlivé 250-298×204 μm, hrdlo 35-50(65) μm	Peritécium, jednotlivé, guľovité až hruškovité, 188(220)×137 μm, hrdlo 35-40 μm	Peritécium, jednotlivé, guľovité až hruškovité, 125-173(265)×95-145 (229) μm, hrdlo 31-42 μm	Peritécium, jednotlivé, 162-221×119-159 μm, guľovité až hruškovité, hrdlo 38-42 μm	Peritécium, jednotlivé, guľovité až hruškovité s centrálnym otvorom, 200-250 μm diam., štetinkovité, hrdlo 50-60 μm
Štetinky	Hnedé alebo hyalinné, úzke alebo ohnuté 2×35 μm dlhé štetinky	Hnedé alebo hyalinné, úzke alebo ohnuté, hrubostenné, 2×55(68) μm	Hyalinné alebo hnedé, hrubostenné štetinky, 2-3×30-52 μm dlhé	Hyalinné alebo hnedé, hrubostenné štetinky, 3-4.5×21-29 μm dlhé	Hyalinné alebo hnedé štetinky, hrubostenné, 3-4.53-4.5×35-51 μm	Hnedé alebo hyalinné štetinky, rovné, cylindrické, zašpicatené na vrchole, hrubostenné, zrnité, 2.5-3.5 μm široké, 80 μm dlhé
Parafýzy	Hyalinné, delené, 50-60×3 μm	Hyalinné, delené, 66-70×4.5-5.5 μm	Hyalinné, delené, 65×9 μm	Hyalinné, delené, 63×3-4 μm	Hyalinné, delené, 74-78×3-4 μm	Hyalinné, delené, 60-100×2-3 μm
Vrecká	Jednovrstvové, cylindrické, so zrezaným vrcholom a malým vrcholovým prstencom, v trsoch, 8 spór/vrecko 75-85×6-8 μm dlhé	V trsoch, jednovrstvové, cylindrické, so zrezaným vrcholom a malým prstencom na vrchole, 8 spór/vrecko 80(93)-97×9.5-10.5 μm	Jednovrstvové s tupým koncom, 8 spór/ vrecko, sediace, 67(92)×5(10) μm veľké	Jednovrstvové s oblým koncom, 8 spór/ vrecko, cylindrické 58-68(94)×8-10 μm	Cylindrické, jednovrstvové s tupým koncom, 8 spór/ vrecko, 68-81×8-10 μm	Cylindrické, sediace, jednovrstvové, 8 spór/ vrecko, 63-73×8-10 μm
Spóry	Zelené až hnedé, eliptické, jednobunkové, jednoradové, hrubostenné bez ornamentov a bez kvapiek, zrnitý obsah 10-13×8-9 μm, Klíčiaci otvor 5-7 μm	Svetlo až tmavohnedé, eliptické až vajcovité, jednobunkové, jednoradové, hrubostenné bez ornamentov, bez kvapiek, zrnitý obsah, 10-12(14)×7-9(10) μm, pozdĺžny klíčiaci otvor 7-8(11) μm	Jednoradové, jednobunkové, zelené až hnedé, hrubostenné, zrnitý obsah, 9(10)-12×4(5)-7 μm, pozdĺžny klíčiaci otvor 8(10)×5 μm	Jednoradové, jednobunkové, hrubostenné so zrnitým obsahom, 9(10)-12×5(6) μm, Klíčiaci otvor 8×5 μm, zelené až hnedé	Jednoradové, jednobunkové, hrubostenné so zrnitým obsahom 9(10)-13×(5-)-6-7(-8) μm, hnedé, pozdĺžny klíčiaci otvor, 7×6 μm	Jednoradové, jednobunkové, hnedé, hrubostenné, široko elipsoidné na vrchole a obličkovité zboku, so zrnitým obsahom, klíčiaci otvor (7.5-)-8.5-10(-11)×(5-)-6-7.5(-8)×(3-)-4-5 μm
Kvapky	Absentujú	Absentujú	Absentujú	Absentujú	Absentujú	Absentujú
Hýfy	Hyalinné, 2 μm široké	Hyalinné, 4-5 μm široké	Hyalinné, 3-4 μm široké	-	Hyalinné, 2-3 μm široké	Hyalinné, 1-4 μm široké
Konídie	Hyalinné, jednobunkové, vajcovité až cylindrické, 3-4×1-2 μm	Hyalinné, jednobunkové, vajcovité, niekedy rohlíkovité, 4×2 μm	Hyalinné, cylindrické až vajcovité, 2-6×1-2 μm, jednobunkové	Hyalinné, jednobunkové, hrubostenné, cylindrické až vajcovité, (2-)-3-6(-7)×1-2 μm	Hyalinné, jednobunkové, hrubostenné, cylindrické, vajcovité alebo rohlíkové (2-)-3-4(-7)×1-2 μm	Hyalinné, jednobunkové, hrubostenné, niekedy rohlíkové, cylindrické až vajcovité (2.5-)-3.5-6(-8)×1-2(-3) μm
Kolónie na PDA	Najprv biele, neskôr bledo žltohnedé, bledo šafránovo-žlté, neskôr tmavnúce so vzdušným mycéliom	Bledo žltohnedé, bledo šafránovo-žlté, neskôr tmavnúce so vzdušným mycéliom	Biele, neskôr bledo žltohnedé až biele, ploché kolónie s riedkym mycéliom	Bledo šafránovo-žlté, bledo žltohnedé až biele, ploché kolónie s riedkym vzdušným mycéliom	Bledo-žltohnedé až biele, ploché kolónie s riedkym mycéliom	Ploché so vzdušným riedkym mycéliom, bledo žltohnedé, bledo šafránovo-žlté až biele, 28 mmv priemere za 2 týždne
Chlamyd.	Obmedzené	Obmedzené	Obmedzené	Obmedzené	Obmedzené	Obmedzené

LITERATÚRA

- /1/ Asgari, B., Zare, R., Gams, W.: *Coniochaeta ershadii*, a new species from Iran, and a key to well-documented *Coniochaeta* species. *Nova Hedwigia*, 84, 2007: 175–187.
- /2/ Bernadovičová, S., Ivanová, H.: Hyphomycetes and Coelomycetes fungi isolated from affected leaves and twigs of cherry laurel leaves. *Folia oecologica* 38, 2011: 137–145.
- /3/ Damm, U., Fournier, P.H., Crous, P.W.: *Coniochaeta* (Lecythophora), *Collophora* gen. nov. and *Phaeomoniella* species associated with wood necroses of *Prunus* trees. *Persoonia*, 24, 2010: 60–80.
- /4/ Ellis, M.B., Ellis, J.P.: *Microfungi on Land Plants: An Identification Handbook*. Croom Helm, London, Sydney, 1985: 818.
- /5/ Hanlin, R.T.: *Illustrated Genera of Ascomycetes*. Vol. II. APS Press, St. Paul, Minnesota, 1990: 263.
- /6/ Hawksworth, D.L., Yip, H.Y.: *Coniochaeta angustispora* sp. nov. from roots in Australia, with a key to the species known in culture. *Australian Journal of Botany*, 29, 1981: 377–384.
- /7/ Ceca, J., Barrasa J.M., Moreno, G., Fort, F., Guarro, J.: The genus *Coniochaeta* (Sacc.) Cooke (Coniochaetaceae, Ascomycotina) in Spain. *Cryptogamie Mycologie*. 9, 1988: 1–34.
- /8/ Chlebicki, A.: Notes on *Pyrenomyces* and *Coelomyces* from Poland. *Acta Societatis Botanicae Poloniae*, 60 (3–4), 1991: 339–350.
- /9/ Ivanová, H., Bernadovičová, S.: New record of the fungus *Coniochaeta prunicola* on peaches from Slovakia. *Biologia* 67 (2), 2012: 269–273.
- /10/ Ivanová, H., Bernadovičová, S.: *Coniochaeta prunicola* – first record for Slovakia and Europe. *Central Journal of European Biology*, 8 (2), 2013: 195–200.
- /11/ Ivanová, H.: Anatomic-morphological characteristic of fungus *Coniochaeta prunicola* isolated from *Prunus cerasus* leaves. *Folia oecologica*, 40, 2013: 28–33.
- /12/ Mahoney, D.P., LaFavre, J.S.: *Coniochaeta extramundana*, with a synopsis of other *Coniochaeta* species. *Mycologia*, 73 (5), 1981: 931–952.
- /13/ Munk, A.: Danish Pyrenomyces. A preliminary flora. *Dansk Botanisk Arkiv*, 17, 1957: 1–491.
- /14/ Raja, H.A., Fournier, J., Shearer, C.A., Miller, A.N.: Freshwater ascomycetes: *Coniochaeta gigantospora* sp. nov. based on morphological and molecular data. *Mycoscience* 53, 2012: 373–380.
- /15/ Romero, A.I., Carmarán, C.C., Lorenzo, L.E.: A new species of *Coniochaeta* with a key to the species known in Argentina. *Mycological Research*, 103, 1999: 689–695.
- /16/ Sutton, B.C.: *The Coelomycetes. Fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stromata*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, 1980: 696.
- /17/ Watanabe, T.: *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultural Fungi and Key to Species*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2002: 504.
- /18/ Weber, E.: The *Lecythophora-Coniochaeta* complex. I. Morphological studies on *Lecythophora* species isolated from *Picea abies*. *Nova Hedwigia*, 74, 2002: 159–185.
- /19/ Zhang, Y., Schoch, C.L., Fournier, J., Crous, P.W., de Gruyter, J., Woudenberg, J.H.C., Hirayama, K., Tanaka, K., Pöting, S.B., Spatafora, J.W., Hyde, K.D.: Multi-locus phylogeny of *Pleosporales*: a taxonomic, ecological and evolutionary reevaluation. *Studies in Mycology*, 64, 2009: 85–102.

Pod'akovanie

Práca bola podporená projektom VEGA č. 2/0069/14.

STUDIUM EXPRESE GENŮ SPOJENÝCH SE STRESEM SUCHEM U ŘEPKY

EXPRESSION ANALYSIS OF DEFENSE-RELATED GENES IN OILSEED RAPE IN RESPONSE TO DROUGHT

Irena Jelínková, Lenka Havlíčková, Channa Chikkaputtaiah, Vladislav Čurn
Biotechnologické centrum, ZF JU v Českých Budějovicích, Studentská 13, České Budějovice 370 05,
Česká republika, jeliir@seznam.cz

Summary

Drought is one of the major abiotic factors affecting yield and quality of crops. Current plant breeding is mainly aiming at creation of drought-tolerant cultivars that are capable of high yield production. According to the hypothesis which this study is based on we proposed an increase of expression of four selected genes (*ERD10*, *ERD15*, *Bn115* and *BnCOR25*) activated during water deficit conditions using of qRT-PCR. For these purposes, the four varieties of oilseed rape (Navajo, Viking, Cadeli and Californium) with differences in drought resistance were exposed to drought.

Key words: Brassica napus, stress, drought tolerance, gene expression

Souhrn

Jedním z hlavních abiotických faktorů ovlivňujících výnos a kvalitu zemědělských plodin je stres suchem. Hlavním cílem šlechtění zemědělských plodin je vytvářet odrůdy, které pomocí mechanismů vzniklých v průběhu evoluce dokáží odolat nepříznivým podmínkám prostředí a jsou schopny udržet vysokou výnosovou úroveň. Tato studie je zaměřena na ověření/vyvrácení hypotézy zvýšení exprese čtyř vybraných genů (*ERD10*, *ERD15*, *Bn115*, a *BnCOR25*) aktivujících se v podmínkách vodního deficitu, pomocí qRT-PCR u čtyř odrůd řepky olejky (Navajo, Viking, Cadeli a Californium) exponovaných suchu.

Klíčová slova: Brassica napus, stres, suchovzdornost, genová exprese

ÚVOD

Rostliny, přisedlé organismy, jsou nuceny čelit různým faktorům abiotického stresu, jako je sucho, horko, mráz či vysoká koncentrace solí. Společným jmenovatelem abiotických stresorů je dehydratace buňky vedoucí k jejímu poškození, proto v průběhu evoluce došlo u rostlin k vývoji mechanismů k obraně proti buněčné dehydrataci.

Jednou z mnoha odpovědí rostlin na dehydrataci je syntéza dehydrinů, ochranných proteinů známých také jako skupina 2 LEA proteinů /2/. Problematika klasifikace dehydrinů není zcela jednotná, tato skupina obsahuje velké množství genů/proteinů (dehydriny, dehydrin-like proteiny, proteiny, které jsou spojeny s reakcí na stress ale nejsou ještě přesně identifikované). Tyto proteiny jsou hydrofilní a termostabilní /3/ a jsou přítomné v rámci druhů nahosemenných i krytosemenných rostlin /1/. Jejich typickým znakem je na lysin bohatá konzervativní doména zvaná „K-segment“, která se v 1-11 kopiích nachází blízko C-konci molekuly. Ve vodném prostředí dehydriny zaujímají konformaci neuspořádaného řetězce, tvoří maximum vodíkových můstků s okolními molekulami vody a zároveň co nejméně intramolekulárních vodíkových můstků. Při nedostatku vody zaujímá K-segment α -helikální konformaci, dochází k přeskupení vodíkových můstků, k navázání

dehydrinu na povrch částečně dehydratovaného proteinu a ten je tak chráněn před další ztrátou vody, která by vedla k jeho denaturaci /2/.

Cílem této studie bylo ověřit/vyvrátit hypotézu zvýšené exprese vybraných genů aktivujících se v podmínkách vodního deficitu, pomocí qRT-PCR u čtyř odrůd řepky olejky exponovaných suchu. Výsledky pomůžou pochopit strategii rostlin v reakci na tento abiotický stres.

MATERIÁL A METODA

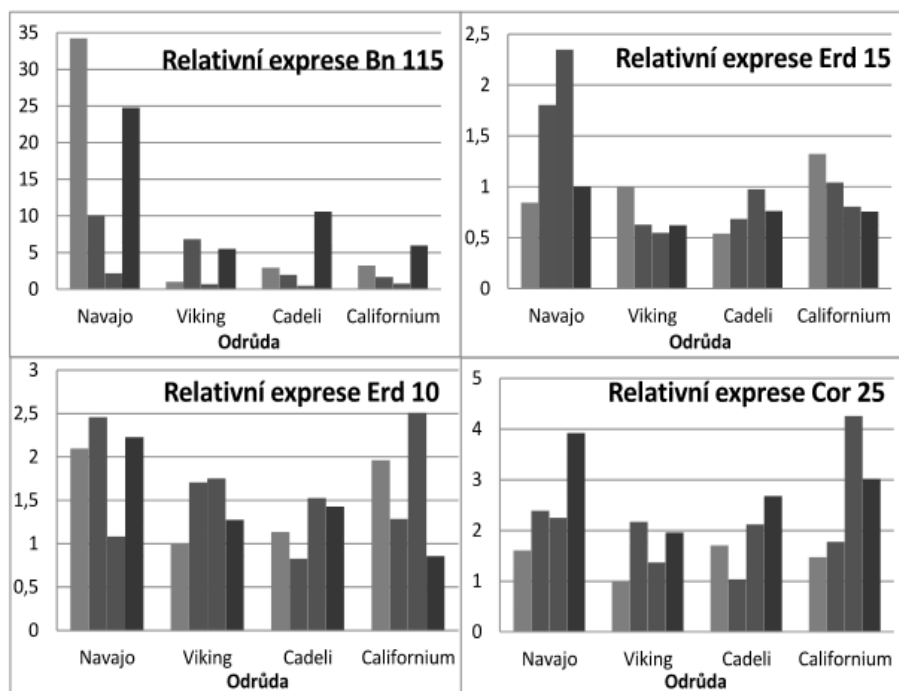
V experimentech byly použity odrůdy řepky Navajo, Viking, Cadeli a Californium. Pro navození stresu suchem byly rostliny řepky olejky po jarovizaci (80 dnů při 4 °C) vystaveny graduálnímu suchu po dobu 4 týdnů v řízených podmínkách ve fytotronu (fotoperioda 14/10 světlo tma, teplota 21/19 °C den/noc, světelná intenzita 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, relativní vlhkost 85%, výměna vzduchu a nucená cirkulace uvnitř boxu). Stres suchem byl navozen přerušením závlivky a izolace RNA byla provedena z třetího nejmladšího listu ve fenologické fázi rostlin BBCH 57-65.

Z exponovaných a kontrolních rostlin byly odebrány a okamžitě hluboce zamrazeny listy pro následnou RNA izolaci a to v podobě bulku ze 3 biologických opakování (TRI Reagent Solution; Ambion). RNA byla přečištěna (RNeasy Plant Mini Kit; Qiagen) a zbavena zbytkové DNA (Ambion's DNA-freeTMKit). Získaná cDNA (Standart Reverse Transcription Protocol; Promega) byla použita pro qRT-PCR. Všechny primery pro studované kandidátní ERD10 (gb|AY376669|), BnCOR25 (gb|HM187577|), Bn115 (gb|S68726|) a ERD15 (gb|GU189587|) byly navrženy v programu Primer Express 3.0 (AppliedBiosystem). Jako referenční gen byl použit ACT7 (Chen a kol. 2010). Kvantitativní RT-PCR byla provedena s použitím Fast Start Essential DNA Green Master na přístroji LightCycler 96 (Roche) za podmínek doporučených výrobcem a to ve třech technických opakováních pro každý vzorek. Relativní exprese genu byla vypočtena podle metody $\Delta\Delta\text{CT}$ (threshold cycle) podle práce /5/. Jako kalibrátor byla pro všechny vzorky použita varianta "Viking kontrola".

VÝSLEDKY A DISKUSE

Expresní analýza ukázala protichůdnou změnu v expresi genů *Bn115* a *ERD15* po dvoutýdenním působení chladu u odrůd Navajo a Viking. Tyto dvě odrůdy se odlišují svou schopností reagovat na stres suchem. Relativní exprese genu *Bn115* u stresované rostliny se u odrůdy Navajo, která je z testovaných odrůd nejodolnější k suchu, více než třikrát snížila v porovnání s kontrolní rostlinou. Naopak, u odrůdy Viking, která je z testovaných odrůd k suchu nejméně odolná došlo po dvoutýdenním působení sucha k téměř sedminásobnému zvýšení exprese oproti kontrolní rostlině. Zvýšená exprese tohoto genu byla pozorována v souvislosti s e s tresem c hladem / 6/. Relativní exprese genu *ERD15* u stresované rostliny odrůdy Navajo se oproti kontrole signifikantně zvýšila, zatímco u stresované rostliny odrůdy Viking došlo v porovnání s kontrolou k jejímu snížení. Důvodem této odlišné reakce může být rychlejší reakce u odolnější odrůdy nebo odlišná strategie v reakci na stres. U odrůdy Navajo bylo u rostlin stresovaných po dobu dvou týdnů zaznamenáno také zvýšení relativní exprese genů *BnCOR25*, jenž je v literatuře zmiňovaný hlavně ve spojitosti s aklimatizací na chlad (např. /7/) a *ERD10*.

Působení chladu po dobu 4 týdnů zvýšilo relativní expresi genu *Bn115* oproti expresi tohoto genu u kontrolních rostlin u všech čtyř testovaných odrůd. Nejmarkantnější změna byla pozorována u odrůdy Cadeli, kde došlo k 22-násobnému zvýšení exprese v porovnání s kontrolou a u odrůdy Navajo (11-násobné zvýšení exprese v porovnání s kontrolou).



Obr. 1 : Výsledky expresní analýzy genů Bn115, ERD15, ERD10 a BnCOR25 u čtyř exponovaných odrůd (Viking, Cadeli, Navajo a Californium).

LITERATURA

- /1/ C lose, T . J . D ehydrins: Emergence of a bi ochemical r ole of a f amily of pl ant dehydration pr oteins. *Physiologia Plantarum*, 1996, 97: 795–803.
- /2/ I ngram, J ., B artels, D . T he molecular b asis o f d ehydration to lerance in p lants. *Annual Review o f P lant Physiology and Molecular Biology*, 1996, 47: 377–403.
- /3/ R urek, M . D iverse accu mulation o f several d ehydrin-like p roteins i n c auliflower (*Brassica o leracea* var. botrytis), *Arabidopsis th aliana* a nd yellow l upin (*Lupinus l uteus*) m itochondria u nder c old and heat stress. *BMC Plant Biology*, 10, 2010: 181.
- /4/ Chen, X ., T ruksa, M ., S hah, S ., W eselake, R.J. A survey of quantitative real-time polymerase chain reaction internal reference genes for expression studies in *Brassica napus*. *Analytical Biochemistry*, 405, 2010: 138–140.
- /5/ Livak, K.J., Schmittgen, T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(T)(-Delta Delta C) method. *Methods*, 25 (4), 2001: 402–408.
- /6/ Lee, S.Ch., Lim, M.H., Yu, J.G., Park, B.S., Yang, T.J. Genome-wide characterization of the CBF/DREB1 gene family in *Brassica rapa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 61, 2012: 142–152.
- /7/ Chinnisamy, V ., Z hu, J ., Z hu, J.K. C old s tress r egulation o f ge ne e xpression i n plants. *T rends i n P lant Science*, 12 (10), 2007: 444–451.

Poděkování

Tato studie byla vytvořena díky finanční podpoře grantu NAZV QI111A075, GAJU063/2013/Z, G AJU132/2014/Z a za podpory projektu Postdok JU (reg.č. CZ.1.07/2.3.00/30.0006) realizovaném v rámci Operačního programu EU Vzdělávání pro konkurenceschopnost. Projekt je s polufinancován E vropským s ociálním f ondem a s tátním rozpočtem České republiky.

EFEKTY NANOŽELEZA NA RŮST KOŘENE LOCIKY SETÉ (*LACTUCA SATIVA*) A NA MIKROBIÁLNÍ OŽIVENÍ PŮDY

NANOIRON EFFECTS ON ROOT GROWTH OF LETTUCE (*Lactuca sativa*) AND ON THE SOIL MICROBIAL ACTIVITY

Alena Dostálková, Klára Kobetičová

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav chemie ochrany prostředí, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika, Klara.Kobeticova@vscht.cz

Summary

The aim of this study was to determine the effects of two forms of nanoiron (NANOFER 25 and NANOFER 25S) on soil microorganisms and higher plants (*Lactuca sativa*). In the case of microorganisms was monitored dehydrogenase activity of the soil, in higher plants was tested inhibition of root growth. The results show that neither form of nanoiron is significantly toxic under the test conditions for model organisms.

Key words: soil, ecotoxicity, nanoiron, microorganisms, Lactuca sativa

Souhrn

Cílem této práce bylo zjistit efekty dvou forem nanoželeza (NANOFER 25 a NANOFER 25S) na půdní mikroorganismy a vyšší rostliny (*Lactuca sativa*). V případě mikroorganismů byla sledována dehydrogenázová aktivita půdy, u vyšších rostlin byl proveden test inhibice růstu kořene. Z výsledků vyplývá, že ani jedna forma nanoželeza není za daných testovaných podmínek pro modelové organismy významně toxická.

Klíčová slova: půda, ekotoxicita, nanoželezo, mikroorganismy, Lactuca sativa

ÚVOD

V posledních letech je nanočásticím a nanomateriálům věnována velká pozornost. Používají se v různých odvětvích průmyslu a přidávají se i do výrobků denní potřeby. Svoji roli mají i v oblasti ochrany životního prostředí a to převážně v problematice starých ekologických zátěží /1/. Z celé škály vyráběných nanočástic jsou k dekontaminacím nejvhodnější a nejpoužívanější nanočástice nulamocného elementárního železa, které fungují jako silné redukční činidlo. Používá se převážně k dekontaminaci povrchových a podzemních vod anebo kontaminovaných půd. Málo probádány jsou však jeho účinky na živé organismy, většina ekotoxikologických studií bylo zaměřeno na vodní organismy, účinky tohoto silně reaktivního činidla na terestrické organismy prozatím byly studovány pouze v omezeném množství /2/. Z těchto důvodů jsme se rozhodly provést test dehydrogenázové aktivity mikrobiálního společenstva a test inhibice růstu kořene u lociky seté (*Lactuca sativa*), abychom zjistily, zda přídavek tohoto činidla ve zvýšené míře může mít efekt na tyto organismy.

MATERIÁL A METODA

Testované nanomateriály

Testy ekotoxicity byly provedeny s nanočásticemi elementárního železa NANOFER 25 a NANOFER 25S (NANO IRON, s.r.o., ČR). NANOFER 25 je stabilizovaný anorganickým

modifikátorem, NANOFER 25S je modifikován kombinací biodegradovatelného organického a a norganického s tabilizátoru. Použity byly roztoky o koncentracích 0 mg/kg (kontrola), 50 mg/kg, 100 mg/kg, 500 mg/kg, 1000 mg/kg a 5000 mg/kg.

Substrát

Jako půdní substrát byla použita uměle připravená (referenční) půda, která se skládá z rašeliny (10 %), jílu (20 %) a písku (70 %). Acidita půdy byla adjustována pomocí CaCO_3 na hodnotu $\text{pH } 6,0 \pm 0,5$.

Testovací organismy

Pro test toxicity s rostlinami byla použita semena lokiky *Lactuca sativa*, odrůda Safír. Pro stanovení dehydrogenázové aktivity (DHA) bylo použito přirozené, nespecifické, půdní společenstvo mikroorganismů.

Test klíčivosti kořene salátu /3/

Test byl proveden na jeden až dva dny předklíčenými semeny salátu. Do plastových misek se navážila kontaminovaná půda a do každé testovací nádoby se rovnoměrně rozmístilo 15 předklíčených semen. Tento test trval 120 hodin. Po této době se salát opatrně vyjmul pinzetou z půdy a změřila se délka kořínků pomocí pravítka.

Test dehydrogenázové aktivity /4/

Tento test trval dva dny. První den se do zkumavky navážilo přibližně 2 g půdy, ke které se přidalo po 1 ml kontaminantu o příslušné koncentraci a 1 ml substrátu (TTC). K blankům se namísto substrátu přidalo 1 ml roztoku pufru a 1 ml destilované vody. Zkumavky se zakryly zátkou, protřepaly a po dobu 24 hodin se nechaly inkubovat ve tmě při teplotě 25°C . Po uplynutí 24 hodin došlo k hydrolyze TTC za vzniku formazanu, který byl extrahován pomocí methanolu. Zkumavky se protřepaly a kapalná fáze se opatrně slila do centrifugačních zkumavek a extrakt se centrifugoval při 4500 ot/min po dobu 10 minut. Nakonec se změřila absorbance při vlnové délce 482 nm. Změřené absorbance byly přepočítány podle dat z kalibrace na koncentraci TPF v jednotlivých roztocích a určila se jejich dehydrogenázová aktivita pomocí rovnice:

$$a = \frac{(\rho_{cs} - \rho_{bs}) \cdot V \cdot 100}{m \cdot DM \cdot t},$$

kde a je dehydrogenázová aktivita [$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]; ρ_{cs} je průměrná koncentrace TPF ve vzorku [$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]; ρ_{bs} je průměrná koncentrace TPF v blanku [$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]; V je objem roztoku (objem substrátu nebo pufru + objem extračního činidla [ml]); m je počáteční hmotnost vzorku [g]; DM je obsah sušiny ve vzorku [%]; t je doba inkubace (24 hod) [h].

Poté se vypočítala inhibice DHA podle vzorce:

$$I_{DHA} = \frac{(A_K - A_{BL}) - [(A)_{VZ} - A_{BL}]}{A_K - A_{BL}} \cdot 100 = \frac{a_K - a_{VZ}}{a_K} \cdot 100 [\%].$$

kde I_{DHA} je inhibice DHA [%]; A_K je absorbance kontroly při $\lambda = 482 \text{ nm}$; A_{BL} je absorbance blanku při $\lambda = 482 \text{ nm}$; $(A)_{VZ}$ je absorbance vzorku při $\lambda = 482 \text{ nm}$; a_K je DHA v kontrole [$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]; a_{VZ} je DHA ve vzorku [$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$].

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z výsledků testů vyplývá, že u obou forem nanoželeza došlo v případě salátu k inhibici měřeného parametru (délka kořene). Míra inhibice ovšem byla nižší než 50%, proto nebyla toxicita vyjádřena jako hodnota IC_{50} (Tab. 1). Inhibice dehydrogenázové aktivity se pohybovala v rozmezí od 5,05 do 34,64 % oproti kontrolní variantě, stimulace mikrobiální populace byla v tomto testu zanedbatelná (Tab. 2). Forma NANOFER 25 oproti formě

NANOFER 2 5S v obou testech mírně zvyšovala inhibici měřených parametrů. Důvodem různé inhibice může být právě způsob stabilizace testovaných forem /2/. V další experimentální práci proto bude toxicita prověřována na dalších modelových organismech (půdní bezobratlí, vodní organismy).

Tab. 1: průměrné hodnoty délky kořene rostlin (mm) pro jednotlivé koncentrace a jejich inhibice I (%), n = 3

Testovaný materiál	Parametr	0 [mg/kg]	50 [mg/kg]	100 [mg/kg]	500 [mg/kg]	1 000 [mg/kg]	5 000 [mg/kg]
NANOFER 25S	průměrná délka kořene (mm)	41,98	36,56	28,29	29,38	36,87	36,33
	I (%)	0,00	12,92	32,61	17,66	12,34	16,31
N NANOFER 25	průměrná délka kořene (mm)	60,16	43,82	42,78	38,37	33,82	43,80
	I (%)	0,00	27,15	28,89	36,22	43,78	27,19

Tab. 2: Dehydrogenázová a kvivita (a) a její inhibice I (%) pro testované nanoteriály – průměrné hodnoty, n = 2

Testovaný materiál	Parametr	0 [mg/kg]	50 [mg/kg]	100 [mg/kg]	500 [mg/kg]	1 000 [mg/kg]	5 000 [mg/kg]
NANOFER 25S	a ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	1,08	1,00	0,78	1,03	1,10	0,92
	I (%)	0,00	7,34	28,21	5,05	-1,70	15,33
NANOFER 25	a ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	1,17	0,91	1,10	0,92	0,78	1,34
	I (%)	0,00	22,90	6,64	21,87	34,64	13,91

LITERATURA

- /1/ Nováková, T., Šváb, M.; Švábová, M.: Využití nanočástic v dekontaminačních technologiích: současný stav. Chemické Listy, 103, 2009: 524–532.
- /2/ El-Temsah, Y.S., Joner, E.J.: Ecotoxicological effects on earthworms of fresh and aged nano-sized zero-valent iron (nZVI) in soil. Chemosphere, 89, 2012: 76–82.
- /3/ ISO 17126 (2005): Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Screening test for emergence of lettuce seedlings (*Lactuca sativa*).
- /4/ Laboratorní návod. Určení dehydrogenázové aktivity (DHA) v půdě. Ústav chemie ochrany životního prostředí, VŠCHT, Praha, 2012.

Poděkování

Příspěvek byl realizován s podporou projektu Studium chemických a biologických procesů pro ochranu životního prostředí (MSM6046137308).

VÝVIN ADVENTÍVNÝCH KOREŇOV KOMPOZITNEJ KUKURICE *ZEA MAYS* L. PO APLIKÁCII KADMIA

DEVELOPMENT OF ADVENTITIOUS ROOTS IN COMPOSITE ZEA MAYS L. PLANTS AFTER APPLICATION OF CADMIUM

Jana Kohanová

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyziológie rastlín, Mlynská dolina B-2, 842 15 Bratislava, Slovenská republika, kohanova@fns.uniba.sk

Summary

Characteristics of adventitious maize roots development under cadmium (Cd) treatment in *in vitro* and hydroponics conditions were investigated. Composite plants of *Zea mays* L. obtained by application of *Agrobacterium rhizogenes* were used to form transgenic roots on wild type de-rooted seedlings. Examination of the developmental stages of adventitious roots demonstrated that Cd is a factor which accelerates formation of endodermal and exodermal suberin lamellae in transgenic roots in comparison with control conditions.

Key words: adventitious roots, Agrobacterium rhizogenes, Cd, composite plants, Zea mays L.

Súhrn

V príspevku sa prezentujú výsledky sledovania vývinu adventívnych koreňov kompozitnej kukurice po aplikácii kadmia v *in vitro* podmienkach a v hydroponii. Technikou transformácie pomocou *Agrobacterium rhizogenes* sme indukovali tvorbu transgénnych koreňov. Pri štúdiu vývinových štádií adventívnych koreňov sa zistilo, že kadmium (Cd) urýchľuje formovanie endodermálnej a exodermálnej suberínovej lamely v transgénnych koreňoch v porovnaní s kontrolou.

Kľúčové slová: adventívne korene, Agrobacterium rhizogenes, Cd, kompozitné rastliny, Zea mays L.

ÚVOD

Zvyšujúca sa koncentrácia ťažkých kovov v ovzduší, v pôde a vo vode, zapríčinená najmä intenzívnou industrializáciou, predstavuje významný environmentálny problém. Citlivým indikátorom kvality prostredia znečisteného priemyselnými emisiami sú rastliny. Nadmerné koncentrácie toxických prvkov nepriaznivo ovplyvňujú ich vitalitu, a to narušením ich fyziologických procesov [1, 2, 3]. Moderné rastlinné biotechnológie poskytujú nové možnosti využívania rastlín, ktoré sa vyznačujú schopnosťou akumulovať vysoké koncentrácie kovov bez viditeľných negatívnych zmien súčasne znižovať obsah toxických kovov v prostredí [4, 5]. Transgénne korene kompozitných rastlín získaných transformáciou pomocou *A. rhizogenes* predstavujú vhodný model pre štúdium vývinu apikálneho meristému koreňa a diferenciáciu koreňov [6]. Pripravou kompozitných rastlín tolerantných druhov sa zvyšuje ich fyto-remediálny účinok [7, 8, 9]. Kukurica siata (*Zea mays* L.), ako hospodárska plodina s pomerne vysokou toleranciou k toxickým koncentráciám ťažkých kovov [11] je tiež jedným z kandidátov pre použitie vo fyto-remediáciách v nízkych a stredne Cd kontaminovaných pôdach [10].

Technikou transformácie pomocou *A. rhizogenes* v podmienkach *in vitro* sme pripravili kompozitné rastliny kukurice *Zea mays* L. Po prenose z *in vitro* do *ex vitro* hydroponických podmienok sme sledovali účinok Cd navyšín adventívnych koreňov.

MATERIÁL A METÓDY

Pre naše experimenty sme použili 3-dňové kľúčne rastliny kukurice siatej (*Zea mays* L., hybrid *Novania*, Sempol T rnavá). Pomocou skalpela sme oddeľovali výhonok a si 3 mm na dĺžku v mieste prechodu kľúčneho koreňa do nadzemnej časti a na reznú plochu sme aplikovali *A. rhizogenes* kmeň Arqual /13/ s binárnym vektorom pB IN-m-*gfp5*-ER /14/. Infikované semenáčky kukurice sme kokultivovali na bezhormónovom MS médiu /18/ (2 % sacharóza, 0,7 % agar, pH 5,8) a po 3 dňoch sme ich preniesli na bezhormónové MS médium s prídavkom 500 mg·l⁻¹ cefotaxímu na elimináciu nežiaducich baktérií. Po dvoch týždňoch kultivácie v podmienkach *in vitro* (fotoperiódadlhého dňa: 16 hod. svetla a 8 hod. tmy, intenzita difúzneho osvetlenia 120 μmol·m⁻²·s⁻¹, teplota 23 ±3 °C) sme rastliny preniesli do Hoaglandovho roztoku s prídavkom cefotaxímu (500 mg·l⁻¹). Po siedmich dňoch aklimatizácie sme aplikovali do živného roztoku 5 Cd (5 μM Cd(NO₃)₂·4H₂O) v prvej variante a 50 Cd (50 μM Cd(NO₃)₂·4H₂O) v druhej variante. Kontrolné rastliny s netransgénym koreňom sme pripravili rovnakým spôsobom, bez aplikovania *A. rhizogenes*.

Pre vizuálnu selekciu GFP pozitívnych „hairy roots“ (Obr. 1C) sme použili fluorescenčný mikroskop (Axioskop 2 plus, Carl Zeiss, filtrová sada 16 a 25).

Na zistenie vzdialenosti zkladania suberínovej lamely v koreňoch po 7-dňovej kultivácii (28. deň od infekcie) v prítomnosti Cd sme z takto pripravených rastlín odrezali adventívne korene vyrastajúce po obvode reznej plochy a zhotovili sériu ručných rezov od apexu k báze koreňa. Suberínovú lamelu v endoderme sme vizualizovali pomocou 0,01 % Fluorol Yellow 088 /15/. Pripravené preparáty sme pozorovali pomocou fluorescenčného mikroskopu (Axioskop 2 plus, Carl Zeiss) pri excitačnom filtri G 365 nm a bariérovom filtri LP 420 nm.

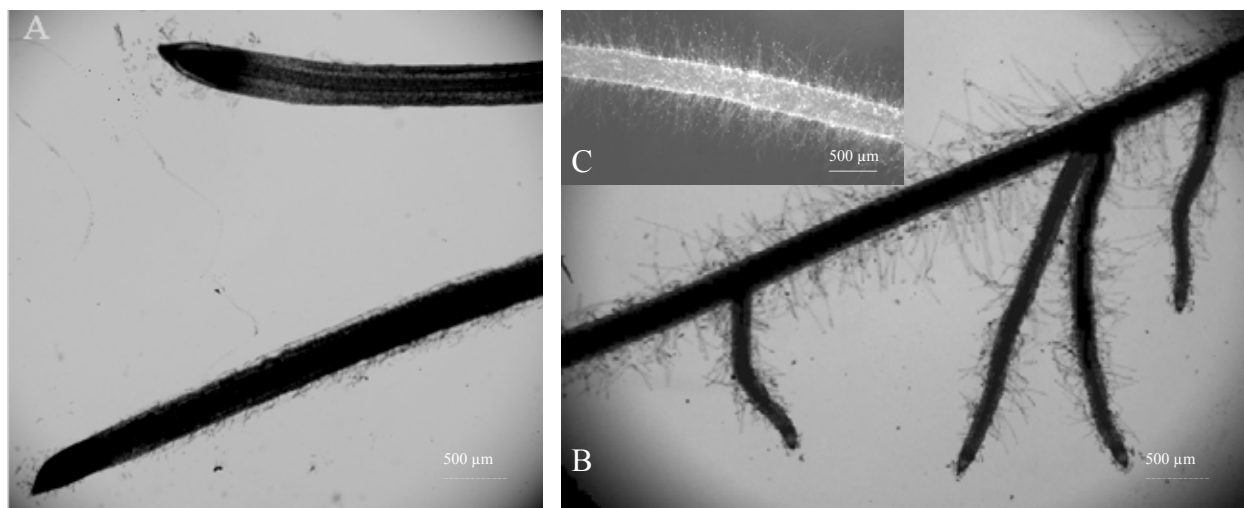
Merali sme dĺžku transgénnych adventívnych koreňov a sledovali vývin laterálnych koreňov na adventívnom koreni. Stanovili sme tiež percento suchej hmotnosti koreňov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

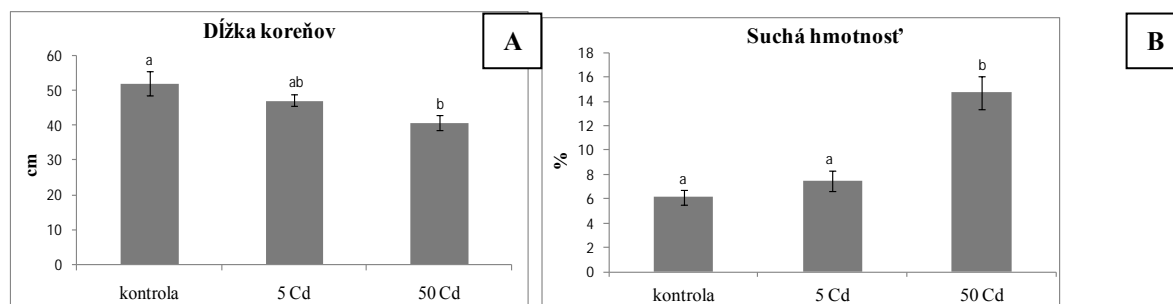
Baktériou *A. rhizogenes* sprostredkovaná transformácia vedie k indukcii tvorby „hairy roots“ /7, 16/. Adventívne korene vyrastajúce z poraneneho mezokotylu kukurice tri týždne po infekcii vykazovali typický morfológický vzhľad „hairy roots“ (Obr. 1B, C). Korene boli bohato rozkonárené a pokryté jemnými koreňovými vláskami po celej ich dĺžke. Smer rastu týchto koreňov bol agravitropický.

Prítomnosť Cd spôsobila výrazné zmeny v rastových parametroch ako aj anatómii koreňa kompozitných rastlín kukurice. Kadmium v koncentrácii 50 μM spôsobilo inhibíciu tvorby bočných koreňov, adventívne korene boli kratšie, málo turgescentné, s vrstvou slizu na povrchu a pri špičke javili známky nekrózy. Pozorovali sme, že so zvyšovaním koncentrácie Cd dochádzalo k redukcii dĺžky koreňa v porovnaní s kontrolným variantom, atiež aj medzi Cd variantmi (Obr. 2A).

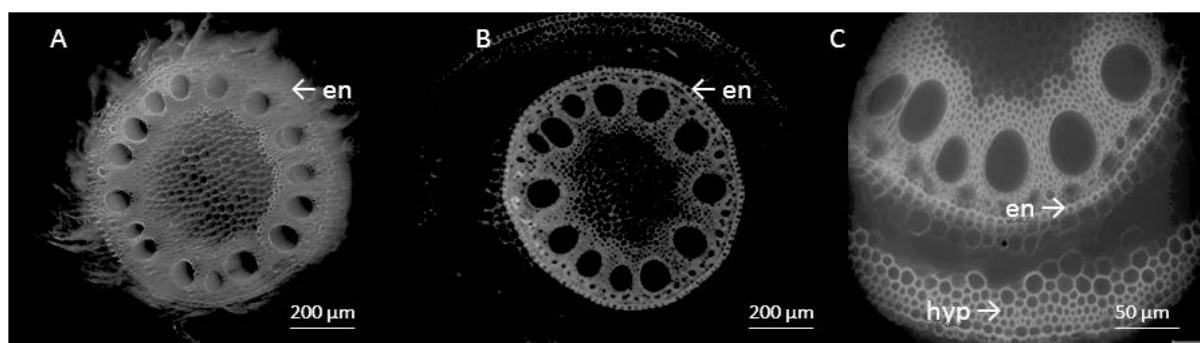
Vysoko príznačný, viac ako dvojnásobný rozdiel v percente suchej hmotnosti v porovnaní s kontrolou sme pozorovali v 50 Cd variante (Obr. 2B). Z výsledkov našich experimentov vyplýva, že suchá hmotnosť koreňov bola ovplyvnená vo väčšej miere ako ich dĺžka. Vyššie percento suchej hmotnosti seminálnych koreňov všetkých sledovaných hybridov kukurice v stresových podmienkach v yvolaných Cd bolo pozorované aj j inými autormi/12/.



Obr.1: Porovnanie (A) kontrolných adventívnych koreňov a (B) „hairy roots” kompozitnej kukurice 3 t ýždne po i nokulácii bakérieu *A. r* hizogenes, (C) vizualizácia GFP pozitívnych „hairy roots“ fluorescenčným mikroskopom. Mierka 500 μm.



Obr. 2: Porovnanie účinkov Cd (A) na dĺžku koreňov, (B) percento suchej hmotnosti. Merania sú priemerom 6 rastlín ± SE. Hladina preukaznosti 0,05 (A), 0,01 (B).



Obr.3: Priechý rez koreňom kukurice vo vzdialenosti 0,5–1 cm od ap exu (A) kontrola, (B) transgénny koreň po aplikácii 5 μM Cd – farbenie s uberínu 0,01% Fluorol Yellow 088 dokazuje depozíciu suberínu do stien endodermálnych buniek (druhá etapa ontogenézy), (C) transgénny koreň po aplikácii 5 μM Cd – zobrazenie l ignifikácie bunk ových stien autofluorescenciou, bunky endodermý ako aj hypodermálne vrstvy sú intenzívne lignifikované.

V „hairy roots” kompozitnej kukurice, ktoré boli vystavené účinku 5 μM Cd sa už v malej vzdialenosti od ap exu (0,5–1 cm) deponoval do endodermý suberín a súčasne dochádzalo k l ignifikácii pl etív e ndodermý (tretia e tapa ont ogenézy) a ko aj k l ignifikácii hypodermálnych vrstiev (Obr. 3B, C). Získané výsledky poukazujú na vysokú citlivosť „hairy

roots“ na účinek Cd modifikáciou bunkových stien apoplazmických bariér. Skorá depozícia suberínovej lamely a lignifikácia pletív potvrdzuje význam týchto pletív pre radiaálny transport toxických iónov Cd do pletív adventívneho koreňa. Podobné výsledky s ne transformovanými rastlinami kukurice, ktoré boli ošetrované Cd pozorovali aj [11] a [17], pričom v prípade hairy roots kukurice dochádza k depozícii suberínu a lignínu do pletív endodermu a periférnych vrstiev primárnej kôry už v blízkosti apexu koreňa.

LITERATÚRA

- /1/ Fay, C.D., Chaney, R.L., White, M.C.: The physiology of metal toxicity in plant. Annual Review Plant Physiology, 29, 1978: 511–566.
- /2/ Rellán-Álvarez, R., Ortega-Villasante, C., Álvarez-Fernández, A., del Campol, F., Hernández, L.E.: Stress responses of *Zea mays* to cadmium and mercury. Plant and Soil, 279, 2006: 41–50.
- /3/ Probst, A., Liu, H., Fanjul, M., Liao, B., Hollande, E.: Response of *Vicia faba* L. to metal toxicity on mine tailing substrate. Geochemical and morphological changes in leaf and root. Environmental and Experimental Botany, 66, 2009: 297–308.
- /4/ Salt, D.E., Smith, R.D., Askin, I.: Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 1998: 643–668.
- /5/ Lone, M.I., He, Z.I., Stoffella, P.J., Yang, X-e.: Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. J Zhejiang University of Science B., Mar 9 (3), 2010: 210–220.
- /6/ Ilina, E.L., Logachov, A.A., Laplaze, L., Demchenko, N.P., Pawlowski, K., Demchenko, K.N.: Composite *Cucurbita pepo* plants with transgenic roots as a tool to study root development. Annals of Botany, 110 (2), 2012: 479–489.
- /7/ Veena, V., Taylor, Ch.G.: *Agrobacterium rhizogenes*: recent developments and promising applications. Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant, 43, 2007: 383–403.
- /8/ Oksman-Caldentey, K.M., Barz, W.H.: Plant Biotechnology and Transgenic Plants. M. Dekker, New York, 2002: 669. ISBN 0-8247-0794-X.
- /9/ Nedelkoska, T.V., Doran, P.M.: Hyperaccumulation of nickel by hairy roots of *Alyssum* species: Comparison with whole regenerated plants. Biotechnology Progress, 17 (4), 2001: 752–759.
- /10/ Wending, X., Guining, L., Zhi, D., Changjun, L., Qiangpei, Ch., Xiaoyun, Y.: Uptake and distribution of Cd in sweet maize grown on contaminated soils: a field-scale study. Bioinorganic Chemistry and Applications, 2013, 2013: 8.
- /11/ Vaculík, M., Landberg, T., Geger, M., Luxová, M., Štoláriková, M., Lux, A.: Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. Annals of Botany, 110, 2012: 433–443.
- /12/ Lukačová-Kulíková, Z., Lux, A.: Silicon influence on maize *Zea mays* L. hybrids exposed to cadmium treatment. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 85, 2010: 243–250.
- /13/ Quandt, H.J., Pühler, A., Broer, I.: Transgenic root nodules of *Vicia hirsuta*: a fast and efficient system for the study of gene expression in indeterminate-type nodules. Molecular Plant-Microbe Interactions, 6, 1993: 699–706.
- /14/ Boisson-Dernier, A., Chabaud, M., Garcia, F., Becard, G., Rosenberg, C., Barker, D.G.: *Agrobacterium rhizogenes*-transformed roots of *Medicago truncatula* for the study of nitrogen-fixing and endomycorrhizal symbiotic associations. Molecular Plant-Microbe Interactions, 14, 2001: 695–700.
- /15/ Brundrett, M., Kendrick, B., Peterson, C.A.: Efficient lipid staining in plant material with Sudan red 7B or Fluoral Yellow 088 in polyethylene glycol-glycerol. Biotechnic and Histochemistry, 66, 1991: 111–116.
- /16/ Taylor, C.G., Fuchs, B., Collier, R., Lutke, W.K.: Generation of composite plants using *Agrobacterium rhizogenes*. Methods in Molecular Biology, 343, 2006: 155–167.
- /17/ Lux, A., Martinka, M., Vaculík, M., White, P.J.: Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. Journal of Experimental Botany, 62, 2011: 21–37.
- /18/ Murashige, T., Skoog, F.: A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum, 15, 1962: 473–497.

Pod'akovanie

Uvedená práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja, grantovým projektom č. APVV-0140-10.

RŮST, BIOCHEMICKÉ A FYZIOLOGICKÉ ZMĚNY U *LEMNA MINOR* VLIVEM DIKLOFENAKU

GROWTH, BIOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHANGES IN LEMNA MINOR EXPOSED TO DICLOPHENAC

Štěpán Zezulka¹, Marie Kummerová¹, Petr Babula²

¹ Masarykova univerzita Brno, Přírodovědecká fakulta, Ústav experimentální biologie – odd. fyziologie a anatomie rostlin, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika, zezulka@sci.muni.cz

² Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Farmaceutická fakulta, Ústav přírodních léčiv – odd. botaniky, Palackého tř. 1/3, 612 42 Brno, Česká republika

Summary

Results of this study proved a marginal effect of low (0.1 and 10 µg/l) and considerable impact of higher treatment (100 µg/l) of diclophenac on growth (plant number, dry weight and leaf area size) of duckweed (*Lemna minor*). Increasing environmental loading led to a significant decrease in content of chlorophyll *a*, *b* and carotenoids in these plants. Similarly a considerable decrease in values of chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m and Φ_{II} at 100 µg/l, Rfd at 0.1 µg/l and an increase in NPQ values at 10 µg/l of diclophenac point at biochemical and physiological changes at the cell and subcellular level.

Key words: Lemna minor, diclophenac, growth, photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence

Souhrn

Výsledky této studie prokázaly nevýznamný vliv nízkého (0.1 a 10 µg/l) a významný vliv vyššího zatížení (100 µg/l) diklofenaku na růst (počet rostlin, hmotnost sušiny a velikost listové plochy) okřehku menšího (*Lemna minor*). Se zvyšujícím se zatížením prostředí se u těchto rostlin významně snižoval obsah chlorofylu *a*, *b* a karotenoidů. Rovněž významné snížení hodnot parametrů fluorescence chlorofylu F_v/F_m a Φ_{II} při 100 µg/l, Rfd při 0.1 µg/l a zvýšení hodnot NPQ při 10 µg/l diklofenaku, je dokladem biochemických a fyziologických změn probíhajících na úrovni buněk a subcelulárních struktur.

Klíčová slova: Lemna minor, diklofenak, růst, fotosyntetické pigmenty, fluorescence chlorofylu

ÚVOD

Vedle klasických persistentních kontaminantů, jako jsou např. PAHs, PCB nebo organochlorové pesticidy, se na kontaminaci životního prostředí podílí zvýšenou koncentrací, zejména ve vodním ekosystému, i tzv. "pseudopersistentní kontaminanty". Do této skupiny náleží především léčiva a jejich transformační produkty, ale také i prostředky osobní péče (PCP) a steroidní látky. Ty jsou neustále přiváděny ve stále se zvyšující koncentraci do čistíren odpadních vod. Nedokonale vyčištěné vody a kontaminované kaly jsou pak často dále využívány v zemědělství. Zatímco účinek těchto látek na mikroorganismy a živočichy je relativně dobře znám, možné účinky na necílové organismy, v tomto případě rostliny, které

představují významnou trofickou úroveň v potravním a potravinovém řetězci, jsou doposud většinou neznámé. Rovněž není znám jejich vliv na biochemické a fyziologické procesy, které se významně podílejí na růstu a vývoji rostlin.

Cílem studie bylo posoudit vliv často používaného protizánětlivého léku diklofenaku a jeho zvyšující se koncentrace (0.1, 10 a 100 µg/l) na růst (počet rostlin, sušina, listová plocha) a primární procesy fotosyntézy (parametry fluorescence chlorofylu, obsah fotosyntetických pigmentů) okřešku menšího (*Lemna minor*). Tato vyšší vodní cévnatá rostlina je pro svou citlivost a schopnost akumulace hojně využívána jako modelový organismus pro studium ekologie společenstev, v ekotoxikologii a v neposlední řadě při produkci biofarmak.

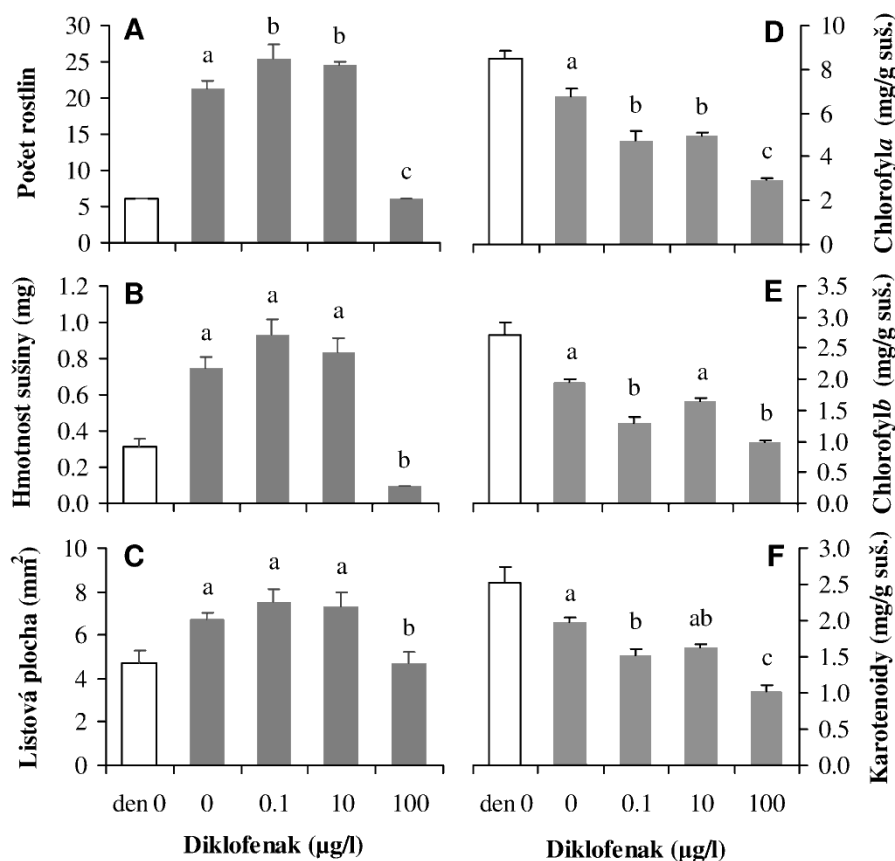
MATERIÁL A METODA

Diklofenak byl rozpuštěn v acetonu (Labscan, Ireland) a dodán do sterilního Steinbergova modifikovaného média (SM, pH 5.5 ± 0.2; ČSNEN ISO 20079) na finální koncentrace diklofenaku 0.1, 10 a 100 µg/l. Experimentální rostlinou byl okřešek menší (*Lemna minor* L.). Experiment probíhal v makrotitračních destičkách (6 jamek, objem jamky 15 ml). Stejně rostliny okřešku, po předkultivaci, byly umístěny do destiček (6 rostlin na jamku) a kultivovány v SM bez (kontrola) a s přidavkem diklofenaku (0.1, 10 a 100 µg/l). Na počátku pokusu (den 0) a po 10 dnech kultivace v řízených podmínkách (teplota 22 ± 2 °C, relativní vzdušná vlhkost 60 %, ozáření 150 µmol/m²/s, fotoperioda 12/12) byl u každého zatížení hodnocen počet rostlin, hmotnost sušiny a listová plocha. Obsah pigmentů po extrakci 100 % acetonem byl stanoven spektrofotometricky (chl *a*, λ=662 nm, chl *b*, λ=644 nm, karotenoidy, λ=470nm) a výpočet byl proveden dle Lichtenthalera /3/. Hodnoty velikosti listové plochy a parametrů fluorescence chlorofylu (F_0 , F_v/F_m , Φ_{II} , NPQ, Rfd) byly získány pomocí fluorometru HandyCam (PSI, Česká republika). Data byla statisticky vyhodnocena pomocí programu S tatistica. Pro vyhodnocení byla použita jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) a Tukey HSD test při P<0.05.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vodní rostliny, které jsou významnými organismy v produkci O₂, cyklu živin, kontrole kvality vod a stabilizaci sedimentů, hrají i úlohu ve vodních ekosystémech jako potrava a přirozené prostředí pro organismy vyšších trofických úrovní /4/. Jednoduchá struktura, malá velikost umožňující kultivaci v malém objemu, rychlý růst a vysoký stupeň homogenity morfologie kultury a v neposlední řadě i senzitivita k široké škále polutantů předurčuje vodní cévnaté rostliny patřící do rodu *Lemna* k uplatnění v testech fytotoxicity /1/.

Cílem studie toxicity diklofenaku je kvantifikovat účinek této látky na vegetativní růst okřešku posouzením počtu rostlin, hmotnosti sušiny a velikosti listové plochy. Zatímco nízké zatížení prostředí diklofenakem (0.1 a 10 µg/l), s výjimkou počtu rostlin, růst rostlin neovlivnilo, o řád vyšší koncentrace diklofenaku (100 µg/l) všechny sledované parametry růstu významně inhibovala (obr. 1a,b,c). Růstové odezvě předcházejí změny v biochemických a fyziologických procesech probíhajících na úrovni buněk a pletiv /5/ a proto je obvykle v testech fytotoxicity kontaminantu hodnocen např. obsah fotosyntetických pigmentů. Významné snížení obsahu chlorofylu *a*, *b* a karotenoidů (obr. 1d,e,f), prokázané již při nejnižším zatížení diklofenaku (0.1 µg/l), je toho dokladem.



Obr. 1: Vliv diklofenaku (0,1, 10 a 100 µg/l) na počet rostlin, hmotnost sušiny, listovou plochu a obsah fotosyntetických pigmentů u *Lemna minor* po 10 dnech kultivace. Sloupce představují průměr, chybové úsečky směrodatnou odchylku. Písmena značí statisticky významné rozdíly při $P < 0.05$.

Změny v parametrech fluorescence chlorofylu (F_0 – základní fluorescence, F_v/F_M – maximální kvantový výtěžek, Φ_{II} – efektivní kvantový výtěžek fotochemických reakcí fotosyntézy v PSII, NPQ – nefotochemické zhašení fluorescence chlorofylu a Rfd – relativní pokles fluorescence chlorofylu) obvykle signalizují vliv stresoru na primární procesy fotosyntézy [2].

Tab.1: Vliv diklofenaku na parametry fluorescence chlorofylu u *Lemna minor* po 10 dnech kultivace

Dny	Diklofenak (µg/l)	F_0	F_v/F_M	Φ_{II}	NPQ	Rfd
0	0	70.56 ± 6.40	0.70 ± 0.05	0.50 ± 0.04	0.14 ± 0.01	0.97 ± 0.09
10	0	69.16 ± 5.72 ^a	0.70 ± 0.03 ^{ab}	0.50 ± 0.04 ^a	0.13 ± 0.01 ^a	0.91 ± 0.07 ^a
	0.1	72.49 ± 5.49 ^a	0.69 ± 0.04 ^{ab}	0.49 ± 0.05 ^a	0.15 ± 0.02 ^a	0.70 ± 0.07 ^b
	10	70.24 ± 6.73 ^a	0.72 ± 0.03 ^a	0.54 ± 0.04 ^a	0.26 ± 0.02 ^b	0.81 ± 0.02 ^c
	100	71.39 ± 5.97 ^a	0.66 ± 0.02 ^b	0.39 ± 0.04 ^b	0.19 ± 0.02 ^c	0.08 ± 0.01 ^d

Data představují průměr ± směrodatné odchylky. Písmena značí statisticky významné rozdíly při $P < 0.05$.

Významné snížení hodnot F_v/F_M a Φ_{II} (Tab. 1) prokázané při zatížení prostředí 100 $\mu\text{g/l}$ diklofenaku a zvýšení hodnot NPQ již při zatížení 10 $\mu\text{g/l}$ je dokladem negativního vlivu tohoto léčiva na primární procesy fotosyntézy. Za neméně významné lze považovat také snížení hodnot Rfd (tzv. index vitality) prokázané již při 0.1 $\mu\text{g/l}$ diklofenaku, který je citlivým ukazatelem vlivu stresoru.

LITERATURA

- /1/ Kumar, K.S., Han, T.: Physiological response of *Lemna* species to herbicides and its probable use in toxicity testing. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 2, 2010: 39–49.
- /2/ Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C., Knap, M.: How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio Rfd of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, 43, 2005: 379–393.
- /3/ Lichtenthaler, H.K.: Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 1987: 350–382.
- /4/ Park, J.-S., Brown, M.T., Han, T.: Phenol toxicity to the aquatic macrophyte *Lemna paucicostata*. *Aquatic Toxicology*, 106–107, 2012: 182–188.
- /5/ Zezulka, Š., Kummerová, M., Babula, P., Váňová, L.: *Lemna minor* exposed to fluoranthene: Growth, biochemical, physiological and histochemical changes. *Aquatic Toxicology*, 140–141, 2013: 37–47.

Poděkování

Uvedená práce vznikla v rámci specifického výzkumu na vysoké škole. Autoři děkují studentům Bc. Aleši Bradáčovi a Bc. Markétě Hájkové (PřF MU) za přípravu experimentu.

VÝNOSY JETELOVINOTRAVNÍCH SMĚSÍ PĚSTOVANÝCH NA ORNÉ PŮDĚ VE SRÁŽKOVĚ ROZDÍLNÝCH LETECH

THE YIELDS OF LEGUME-GRASS MIXTURES GROWN ON ARABLE LAND IN YEARS WITH DIFFERENT PRECIPITATION

Jaroslav Lang

Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Troubsko, Zahradní 1, 664 41 Troubsko, Česká republika, lang@vupt.cz

Summary

At the locality Troubsko small plots trials with legume-grass mixtures were established. *Dactylis glomerata* and interspecific hybrid *Felina* were added to *Trifolium pratense* in ratio clover:grass 50:50 % and 80:20 %. The yields were studied and their correlation with the lack of precipitation was tested. It was found, that the best yields were obtained in the mixtures of *Medicago sativa* and grasses. The influence of grass species and its ratio in the tested mixtures was not significant both in dry and in normal year.

Key words: alfalfa, red clover, cocksfoot, Felina, yield, dry

Souhrn

Na lokalitě Troubsko byly založeny mloparcelové pokusy s jetelovinotravními směsmi. K vojtěšce seté a k jeteli lučnímu byly přidány srhaločnatá nebo hybrid *Felina* v poměrech (jetelovina:tráva) 50:50 % a 80:20 %. Byly sledovány výnosy směsí v závislosti na nedostatku srážek. Bylo zjištěno, že nejlepší výnosy jsou u vojtěškotravních směsí, vliv travního druhu a jeho zastoupení ve směsi na výnos v suchém ani srážkově normálním roce nebyl prokázán.

Klíčová slova: vojtěška, jetel luční, srhaločnatá, Felina, výnos, sucho

ÚVOD

Jetelovinotravní směsi pěstované na orné půdě jsou zdrojem píce vhodné ke zkrmování skotu v čerstvém i konzervovaném stavu. Vojtěška a jetel jsou nositeli látek převážně bílkovinného charakteru a travní komponent ve směsi zvyšuje obsah vodorozpustných cukrů. To má pozitivní vliv na proces silážování píce /6/. Tráva také zvyšuje podíl potřebné rychle rozpustné vlákniny. Vojtěška snáší sucho a je důležitou pícninou teplejších poloh, naopak trávy a jetel luční při nedostatku vody tvoří nízké výnosy. Některé travní druhy jsou na vodu méně náročné a jsou vhodné do sušších oblastí. Jsou to například kostřavy, kostřavovité hybridy (*Felina*), ovsík vyvýšený, srhaločnatá a další. Pro výrobu kvalitního krmiva a z důvodu vysoké konkurenceschopnosti trav by měl podíl trávy v lokalitách s dostatkem srážek ve směsi tvořit 20, maximálně však 25 % celkové hmoty při sklizni. Tomu odpovídá např. směs osiva 16 kg vojtěšky + 3 kg mezirodového hybridu (MRH) *Felina* (84:16 %) určená pro výsev na 1 ha/5/. V suchých lokalitách může být podíl trávy ve směsi osiva navýšen až na 50 %, čemuž například odpovídá směs 9 kg vojtěšky + 15 kg MRH *Felina* určená pro výsev na 1 ha/3/. Jetelovinotravní směsi se na orné půdě pěstují 1–3 roky.

MATERIÁL A METODY

V roce 2011 byl na lokalitě Troubelo založen maloparcelový pokus s jetelovinotravními směsmi. Směsi s novou pozdní odrůdou srhy laločnaté (odrůda pod pracovním názvem VV 115-132/10 prochází schvalovacím řízením) byly rozděleny do dvou experimentálních skupin. První skupinu tvořily dva druhy směsí, první směs byla vojtěška a srha v poměru 80:20 %, druhá směs byla jetel luční a srha ve stejném poměru. Druhou skupinu tvořily podobně směs vojtěšky a srhy, ale v poměru 50:50 % a směs jetele lučního a srhy ve stejném poměru. Jako kontrolní varianty byly zvoleny směsi složené ve stejných poměrech, ale s jiným travním komponentem – s hybridem Felina, která je doporučována jako vhodná komponenta do jetelovinotravních směsí i do suchých oblastí a je určena k vícesečnému využití [1]. Složení směsí přehledně uvádí tabulka č. 1.

Tab. 1: Podíl osiva ve směsích a jejich výsevek

číslo	Směs	zastoupení [%]		výsevek [kg.ha ⁻¹]	
		jetelovina	tráva	jetelovina	tráva
1	vojtěška setá + srha laločnatá	80	20	14,4	4
2	vojtěška setá + srha laločnatá	50	50	9	10
3	jetel luční + srha laločnatá	80	20	14,4	4
4	jetel luční + srha laločnatá	50	50	9	10
5	vojtěška setá + MRH Felina	80	20	14,4	6
6	vojtěška setá + MRH Felina	50	50	9	15
7	jetel luční + MRH Felina	80	20	14,4	6
8	jetel luční + MRH Felina	50	50	9	15

Tab. 2: Klimatologické hodnocení vegetačních měsíců v roce 2012 a 2013

měsíc	rok 2012				rok 2013			
	teplota [°C]		srážky [mm]		teplota [°C]		srážky [mm]	
	průměr	hodnocení	celkem	hodnocení	průměr	hodnocení	celkem	hodnocení
leden	0,7	1	27,5	0	-1,3	0	21,3	0
únor	-3,8	-1	5,6	-2	0,4	0	47,5	1
březen	6,1	1	1,8	-3	1,0	-1	42,1	1
duben	9,5	0	12,1	-2	9,5	0	18,0	-1
květen	16,0	1	25,4	-2	13,8	0	105,6	1
červen	18,2	1	60,6	0	16,9	0	116,2	1
červenec	20,4	2	60,0	0	20,8	2	4,8	-3
srpen	19,7	2	72,4	0	19,3	1	68,8	0
září	14,5	0	32,1	0	12,5	-1	48,4	0
říjen	10,2	1	35,1	0	9,5	0	33,3	0
listopad	5,7	2	20,1	-1	5,1	2	21,5	-1
prosinec	-1,8	0	29,9	0	1,7	1	4,1	-3

Hodnocení teplot: -1 = studený, 0 = normální, 1 = teplý, 2 = silně teplý

Hodnocení srážek: -3 = mimořádně suchý, -2 = silně suchý -1 = suchý, 0 = normální, 1 = vlhký

Lokalita Troubsko patří do řepařské výrobní oblasti, s nadmořskou výškou 270 m, průměrnou roční teplotou 8,6 °C, ve vegetaci (duben – září) 14,8 °C. Roční suma srážek činí 547 mm, ve vegetaci 346 mm. Průměrné měsíční teploty a srážky ve sklizňových letech uvádí

tabulka č. 2, ve které je také uvedeno klimatologické hodnocení měsíců. Teplotní a srážkové hodnocení bylo provedeno podle doporučení WMO pro popis klimatologických podmínek /2/.

Před založením, ani během kultivace, nebyla použita žádná hnojiva. V roce 2011 probíhaly odplevelovací, nevážené seče. Rok 2012 byl první sklizňový, rok 2013 druhý sklizňový. V obou letech byly provedeny čtyři sklizně. Statistické hodnocení výnosů suché hmoty bylo provedeno metodou analýzy variance (ANOVA $P > 0.05$) s následným hodnocením Tukeyovým testem.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výnosy suché hmoty v obou sklizňových letech ovlivnil zejména průběh počasí. Jak vyplývá z výsledků ANOVY, roky 2012 a 2013 byly ve sklizni rozdílné. Vegetační období 2012 na lokalitě Troubsko bylo charakterizováno silně podnormálními srážkami a naopak nadnormálními teplotami, zatímco rok 2013 byl ve vegetaci většinou vlhký a teplotně normální. V roce 2012 byl průměrný výnos souboru (všech variant) 1,39 t suché hmoty. V roce 2013 byl průměrný výnos souboru 2,89 t suché hmoty.

Na základě statistického rozboru je možné v roce 2012 vytvořit tři výnosové skupiny. Do nejvýnosnější skupiny patří vojtěška s celkovým výnosem 9,33 t.ha⁻¹, směs vojtěšky se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem 9,31 t.ha⁻¹, směs vojtěšky se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem 9,25 t.ha⁻¹, směs vojtěšky s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem 8,86 t.ha⁻¹, a směs vojtěšky a hybridu Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem 8,19 t.ha⁻¹. V roce 2012 se nepotvrdily rozdíly ve výnosech u vojtěškotravních směsí s rozdílným rozdílným travním komponentem ani rozdílným složením.

Do druhé skupiny s nižším výnosem spadají směsi jetele lučního se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem 4,72 t.ha⁻¹, směsi jetele lučního se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem 3,92 t.ha⁻¹, směs s hybridem Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem 3,91 t.ha⁻¹, směs s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem 3,55 t.ha⁻¹, a jetel luční s celkovým výnosem 3,44 t.ha⁻¹. Ani v této skupině se nepotvrdily rozdíly ve výnosech u jetelotravních směsí s rozdílným travním komponentem ani rozdílným složením.

Do třetí skupiny s nejnižším výnosem patří srha s celkovým výnosem 1,25 t.ha⁻¹ a hybrid Felina s celkovým výnosem 1,11 t.ha⁻¹.

V roce 2013 lze vytvořit také tři výnosové skupiny. Mezi nejvýnosnější patří opět vojtěška s celkovým výnosem 18,60 t/ha, směs vojtěšky se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem 18,22 t.ha⁻¹, směs vojtěšky se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem 17,62 t.ha⁻¹, směs vojtěšky s hybridem Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem 17,26 t.ha⁻¹, směs vojtěšky s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem 16,04 t.ha⁻¹. V roce 2013, který byl teplotně i srážkově normální se nepotvrdily rozdíly ve výnosech u vojtěškotravních směsí s rozdílným travním komponentem ani s rozdílným složením.

Do druhé skupiny s nižším výnosem patří směs jetele lučního se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem 9,11 t.ha⁻¹, jetel luční s celkovým výnosem 8,59 t.ha⁻¹, směs jetele lučního s hybridem Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem 8,45 t.ha⁻¹, směs jetele lučního se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem 7,99 t.ha⁻¹ a směs jetele lučního s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem 7,95 t.ha⁻¹. Třetí a nejnižší výnosovou skupinu tvoří srha s celkovým výnosem 4,67 t.ha⁻¹ a hybrid Felina s celkovým výnosem 4,37 t.ha⁻¹. U trav je potřeba zdůraznit, že na nízkém výnosu se může podílet i absence dusíku (pokus nebyl hnojen) na rozdíl od směsí, které mají přísun dusíku prostřednictvím hlízkových bakterií žijících v symbióze s jetelovinami, které poutají vzdušný dusík. Z jiných pokusů na stejné lokalitě ale vyplývá, že výnosy samotných trav v podmínkách nedostatku srážek jsou nízké, i když jsou hnojené dusíkatým hnojivem /4/. U vojtěškotrav, na rozdíl od jetelotrav, se srha laločnatá i hybrid Felina v suchých obdobích vyvíjely v porostech velmi dobře. To může být dáno tím, že hustý a vysoký vojtěškový porost dokáže zamezit lépe výparu (hlavně rosy) a

vytvoří tak vhodnější mikroklima pro růst trav. Podobnou funkci ve směsích tvoří například jetel plazivý po sklizni píce /7/.

I přesto, že vojtěška dala v obou sklizňových letech nejvyšší výnosy, vykazovala mezi sklizňovými roky největší rozdíly ve výnosech. Rozdíl mezi suchým rokem 2012 a normálním rokem 2013 činí 9,27 t.ha⁻¹ suché hmoty. Podobné rozdíly vykazují vojtěškotrávy s intervalem výnosů 9,07–7,19 t/ha s uché hmoty. Jeteletrávy vykazují rozdíly 4,54–4,07 t.ha⁻¹. Rozdíl u jetele lučního je 5,14 t.ha⁻¹ a rozdíl u trav 3,42–3,26 t.ha⁻¹.

Srha laločnatá i mezirodový hybrid Felina jsou vhodné do jetelovinotravních směsí do suchých podmínek. V suchých a teplejších podmínkách mají vojtěškotrávy vyšší výnos než jeteletrávy. Ty jsou vhodnější do vyšších poloh s větším množstvím srážek, ve kterých vojtěšku, kvůli vyšším nárokům na teplotu, není možné pěstovat. Rozdílné zastoupení pozdní odrůdy srhy laločnaté VV 115-132/10a hybridu Felina ve směsi nemá vliv na výnos hmoty v suchém, ani normálně srážkovém roce.

LITERATURA

- /1/ DLFH ladké životice: Naše odrůdy [on-line] 2013. [cit. 2013-09-05]. Dostupné z : <http://www.dlf.cz/upload/fl_felina.pdf>
- /2/ Kožnarová, V., Klabzuba, J.: Doporučení WMO pro popis meteorologických, resp. klimatologických podmínek definovaného období. Rostlinná výroba, 48 (4), 2002: 190–192.
- /3/ Lang, J.: Srha laločnatá v jetelovinotravních směsích. Úroda 12, 2013, vědecká příloha časopisu: 86–91. ISSN 0139-6013.
- /4/ Lang, J., Novosádová I.: A comparison of different nitrogen application systems for intergenetic grass hybrids with regard to forage production and quality. In: Sborník 15th Conference on Environment and Mineral Processing & Exhibition. VSB – Technical University of Ostrava, 2011.
- /5/ Vorlíček, Z., Hanuš, O., Šindelková, I.: Zvýšení podílu energie v objemných krmivech ekologických farem pěstováním vhodných travních a jetelovinotravních směsí. Metodika 5/09. Troubsko, 2009: 16. ISBN 978-80-86908-09-0.
- /6/ Vorlíček, Z., Dubec, J. 2007: Jeteloviny a jeteletrávy pro kvalitní objemnou píci. Vše pro trávy a jetelovinotrávy, magazín měsíčníku Agrární obzor: 6–7.
- /7/ Svobodová, M., Šantrůček, J. 2007: Mulčování porostů trav a jetelovin [on-line]. Agroweb [cit. 2011-07-20]. Dostupné z: <http://www.agroweb.cz/Mulcovani-porostu-trav-a-jetelovin_s73x27544.html>

Poděkování

Výsledek byl získán za částečné institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.

PRODUKČNÍ VLASTNOSTI GENETICKÝCH ZDROJŮ JÍLKU VYTRVALÉHO (*LOLIUM PERENNE* L.) VE VZTAHU K VLIVU ROČNÍKU

PRODUCTION TRAITS OF GENETIC RESOURCES OF PERENNIAL RYEGRASS (*LOLIUM PERENNE* L.) IN RELATION TO INFLUENCE OF YEAR

Martin Lošák

OSEVA PRO s.r.o., o.z. Výzkumná stanice travinářská Rožnov – Zubří, Hamerská 698, 756 54 Zubří,
Česká republika, losak@oseva.cz

Summary

In the years 2011–2013, production properties of 19 genetic resources of diploid perennial ryegrass from the germplasm collection of OSEVA PRO Ltd., Grassland Research Station Rožnov – Zubří were evaluated in the field experiment at Zubří (49°27'57"N, 18°4'51"E, altitude 345 m, annual rainfall 865 mm, annual average temperature 7.5 °C). The seasonal dry matter yield, total annual dry matter yield, sward height before each cut, time of inflorescence emergence and abundance of inflorescences were compared in the set of 2 control varieties ('Olaf', 'Barutti') and 17 wild ecotypes in three-cut variant.

Key words: biomass production, fodder crops, Lolium perenne, wild genetic resources

Souhrn

V letech 2011–2013 byly v polním experimentu na pokusném stanovišti v Zubří (49°27'57" N, 18°4'51" E, 345 m n.m., dlouhodobý průměr ročního úhrnu srážek 865 mm, dlouhodobý průměr denní teploty vzduchu 7,5 °C) hodnoceny produkční vlastnosti 19 diploidních genetických zdrojů jílku vytrvalého z kolekce genetických zdrojů OSEVA PRO s.r.o., Výzkumná stanice travinářská Rožnov – Zubří. Byl porovnáván výnos suché hmoty v jednotlivých sečích, celkový roční výnos suché hmoty, výška porostu před každou sečí, začátek a intenzita metání v souboru 2 kontrolních odrůd ('Olaf', 'Barutti') a 17 položek planého původu ve variantě sečené 3× ročně.

Klíčová slova: produkce biomasy, pícniny, Lolium perenne, plané genetické zdroje

ÚVOD

Genetické zdroje (GZ) rostlin představují materiál rostlinného původu ve formě šlechtěných a krajových odrůd, planých druhů a forem, který má současné nebo potenciální využití a zasluhuje proto ochranu a zachování pro budoucnost. Shromažďování a uchovávání GZ zvláště planého původu má význam pro získání genů s rezistencí k chorobám a škůdcům, ale také s tolerancí k nepříznivým podmínkám /7/. OSEVA PRO s.r.o., Výzkumná stanice travinářská je v rámci ČR kurátorem genofondové sbírky travin, ve které má v současnosti největší podíl kolekce jílku vytrvalého (*Lolium perenne* L.). Ta byla k 31. 12. 2013 tvořena 461 dosud nepojmenovanými polními odrůdami, z toho 71 je kotypů a 390 odrůd a šlechtitelských materiálů. Význam jílku vytrvalého dokládá také počet odrůd ve Společném evropském katalogu, který ke konci roku 2013 činil 1072 odrůd pro pícní i travníkové využití. Diploidní odrůdy jílku vytrvalého jsou podle /3/ vytrvalejší, vytvářejí hustější porosty a mají relativně vysokou

odolnost k abiotickým a biotickým stresům. Hodnocení GZ trav je nezbytným předpokladem pro jejich praktické využití ve šlechtění a výzkumu.

Cílem práce bylo porovnat produkční vlastnosti 19 diploidních položek jílku vytrvalého z kolekce genetických zdrojů trav v třísečné variantě polního pokusu ve 3 užitkových letech.

MATERIÁL A METODA

Maloparcelkový pokus byl zložen v roce 2010 v katastru města Zubří. Vzhledem k omezenému množství osiva planých položek jílku vytrvalého byl pokus zložen ve 2 randomizovaných opakováních s velikostí jednotlivých parcel 2 m². Hnojení pokusu: v jarním období a po každé seči kromě poslední byla aplikována dávka 60 kg N.ha⁻¹. Termíny sečí probíhaly podle metodiky hodnocení genetických zdrojů pícnin a trav /6/. Seznam a původ hodnocených planých materiálů je uveden v tabulce 1. Kontrolní odrůdy byly vyšlechtěny v České republice (cv. 'Olaf') a v Nizozemí (cv. 'Barutti'). Sklizeň byla prováděna lištovou žací sekačkou MF 70 a při každé seči byla vážením zjištěna hmotnost zelené hmoty na parcele (kg). Následně byly odebrány přibližně 0,25 kg vzorky zelené hmoty, které byly zváženy, vysoušeny při teplotě 60 °C a zváženy pro stanovení celkového ročního výnosu suché hmoty a v ýnosu v jednotlivých sečích. Dále bylo provedeno hodnocení dalších znaků podle Klasifikátoru Trávy /9/. Před každou sečí byla změřena výška porostů a byly zaznamenány začátek metání, který byl následně přepočten na počet dnů od 1. dubna, a intenzita metání, která byla hodnocena pomocí 9bodové stupnice (1 – žádná nebo velmi slabá, 9 – velmi silná) odhadem počtu fertálních stébel na 1 m² v plném metání. Teplotní a srážkový průběh počasí ve vegetačním období let 2011–2013 je uveden v tabulce 2.

Výsledky byly statisticky vyhodnoceny metodou analýzy variance ANOVA v programu STATISTICA CZ 12 a následným testováním statistické významnosti rozdílů středních hodnot pomocí Tukeyova HSD testu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Tab. 1: Původ planých genetických zdrojů jílku vytrvalého

Označení	Původ	Označení	Původ	Označení	Původ
27/96 (631)	Česká republika	21/08 (645)	Česká republika	48/09 (661)	Norsko
31/96 (632)	Česká republika	43/09 (656)	Česká republika	49/09 (662)	Norsko
34/96 (633)	Česká republika	44/09 (657)	Česká republika	50/09 (663)	Dánsko
95/04 (635)	Nový Zéland	45/09 (658)	Portugalsko	51/09 (664)	Dánsko
55/06 (647)	Česká republika	46/09 (659)	Velká Británie	135/99 (634)	Slovensko
56/06 (648)	Česká republika	47/09 (660)	Velká Británie		

Pozn.: Čísla v závorkách představují poslední trojčíslí národního evidenčního čísla genetického zdroje (ECN) jílku vytrvalého ve tvaru 14G2000xxx.

Tab. 2: Průměrné měsíční teploty (°C) a měsíční úhrny srážek (mm) v letech 2011–2013, teplotní a srážkové normály (1961–1990) ve vegetačním období (VO) pro lokalitu Zubří

Měsíc	Průměrné teploty 2011	Průměrné teploty 2012	Průměrné teploty 2013	Teplotní normál	Úhrny srážek 2011	Úhrny srážek 2012	Úhrny srážek 2013	Srážkový normál
IV	10,4	9,8	9,3	7,5	56,6	19,3	9,6	61,2
V	13,9	14,9	13,8	12,5	110,8	52,2	79,0	92,4
VI	17,8	18,5	17,2	15,3	112,3	105,9	135,6	114,7
VII	17,4	20,3	20,0	16,7	158,4	54,5	26,2	113,9
VIII	18,1	19,3	19,3	16,2	76,9	40,1	60,5	102,1
IX	15,6	15,1	12,2	13,0	18,4	89,0	125,9	62,5
VO	15,5	16,3	15,3	13,5	533,4	361,0	436,8	546,8

VÝSLEDKY A DISKUZE

Ve výšce porostů jílku vytrvalého měřené před každou sečí nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi hodnocenými položkami. Statisticky významný však byl vliv ročníku a pořadí seče. V 1. seči byla výška porostů v roce 2011 v průměru všech položek 76,4 cm (^a), 38,9 cm (^c) v roce 2012 a 51,6 cm (^b) v roce 2013. Ve 2. seči byla v roce 2011 průměrná výška 66,1 cm (^a), 52,7 cm (^b) v roce 2012 a 44,2 cm (^c) v roce 2013. Ve 3. seči byla v roce 2011 průměrná výška porostů 52,8 cm (^a), 18,2 cm (^c) v roce 2012 a 27,9 cm (^b) v roce 2013. Výška porostů měřená před 3. sečí vykazovala nejvyšší míru variability vyjádřenou variačním koeficientem (47 %) v porovnání s výškou porostů před 1. sečí (39 %) a před 2. sečí (29 %). V průměru všech tří termínů měření výšky porostů a všech hodnocených položek byla výška porostů 65,1 cm (^a) v roce 2011, 36,6 cm (^c) v roce 2012 (^b) a 41,3 cm (^b) v roce 2013. Rozdíly mezi jednotlivými lety přikládáme mimo jiné nepříznivým hodnotám vzdušné vlhkosti, neboť podle /5/ jsou významným stresovým faktorem u jílku vytrvalého také nízké hodnoty vlhkosti vzduchu, protože se jedná o druh původně z přímořských oblastí Evropy.

Průměrná roční produkce suché hmoty (SH) položek jílku vytrvalého v průměru tří let je znázorněna v tabulce 3. Můžeme pozorovat značnou podobnost v produkci SH mezi ekotypy a kontrolními odrůdami. Podobnost ve výnosech SH mezi vybranými planými populacemi a odrůdami jílku vytrvalého uvádí také /4/, který v klimaticky příznivých letech pro růst jílku vytrvalého uvádí statisticky průkazně vyšší výnosy některých ekotypů v porovnání s odrůdami. Vyšší produkce SH v porovnání s oběma kontrolními odrůdami dosáhly ekotypy českého původu 56/06, 31/96, 44/09, 21/08, dále ekotyp slovenského původu 135/99 a ekotyp původem z Norska 49/09. Byly zjištěny rozdíly v produkci SH mezi sklizňovými roky, kdy v klimaticky nejpříznivějším roce 2011 byla celková roční produkce v průměru všech položek 17,97 t.ha⁻¹, v roce 2012 byla produkce 11,61 t.ha⁻¹ a v roce 2013 byla produkce nejnižší, a to 9,58 t.ha⁻¹. Vyšší výnosovou úroveň si v srážkově chudších letech 2012–2013 udržely ekotypy 56/06, 49/09, 31/96, 135/99 a 44/09. Těchto 5 ekotypů dosahovalo ve 2. a 3. užitkovém roce nejvyšších výnosů v porovnání se všemi hodnocenými položkami včetně kontrolních odrůd. Variabilita v produkci SH vyjádřená variačním koeficientem byla 30 % se směrodatnou odchylkou 3,9 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Produkce v vyšší než 20 t.ha⁻¹.rok⁻¹ v roce 2011 dosáhly ekotypy 21/08, 31/96 a kontrolní odrůda Olaf. Jak uvádí /1/, u jílku vytrvalého lze počítat s ročním výnosem suché hmoty až 20 t.ha⁻¹. Roční produkci suché hmoty jílku vytrvalého 17,1 t.ha⁻¹ ve druhém roce po založení pokusu a v třísečné variantě uvádí ve svých výsledcích /10/.

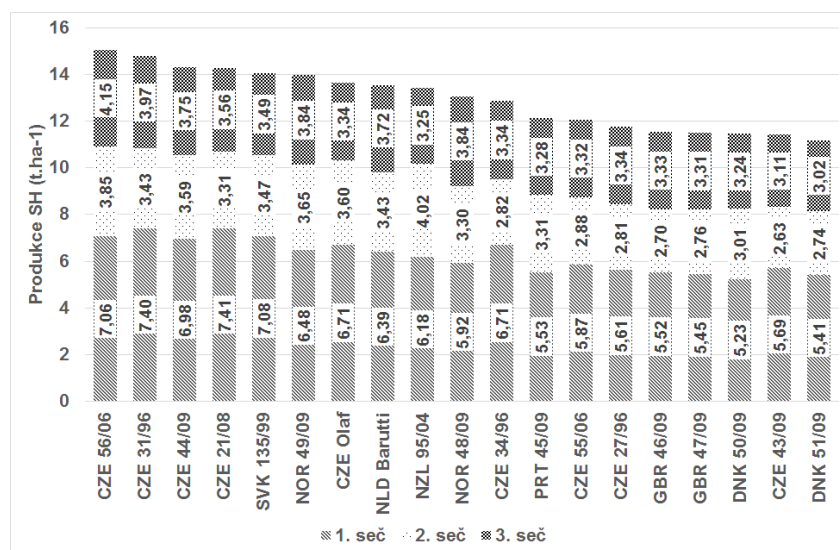
Tab. 3: Průměrná roční produkce suché hmoty (2011–2013) u položek jílku vytrvalého v Zubří (písmenné indexy znázorňují statisticky průkazné rozdíly zjištěné Tukey HSD testem mezi položkami na hladině významnosti $\alpha=0,05$)

Položka	Produkce SH (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)		Položka	Produkce SH (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	
CZE 56/06	15,06	a	CZE 34/96	12,87	abc
CZE 31/96	14,80	ab	PRT 45/09	12,12	abc
CZE 44/09	14,32	abc	CZE 55/06	12,07	abc
CZE 21/08	14,28	abc	CZE 27/96	11,77	abc
SVK 135/99	14,05	abc	GBR 46/09	11,56	bc
NOR 49/09	13,97	abc	GBR 47/09	11,52	bc
CZE Olaf	13,65	abc	DNK 50/09	11,47	bc
NLD Barutti	13,54	abc	CZE 43/09	11,43	bc
NZL 95/04	13,44	abc	DNK 51/09	11,16	c
NOR 48/09	13,06	abc			

CZE – Česká republika, DNK – Dánsko, GBR – Velká Británie, NLD – Nizozemsko, NOR – Norsko, NZL – Nový Zéland, PRT – Portugalsko, SVK – Slovensko

Porovnání produkce SH na základě **produkce v jednotlivých sečích** a v průměru tři užitkových let je znázorněno v grafu 1. V průměru všech hodnocených položek byla zjištěna produkce SH v 1. seči v roce 2011 (8,15 t.ha⁻¹)^a, v roce 2012 (4,84 t.ha⁻¹)^c a v roce 2013 (5,74 t.ha⁻¹)^b. Ve 2. seči byla zjištěna produkce v roce 2011 (4,01 t.ha⁻¹)^a, v roce 2012 (4,06 t.ha⁻¹)^a a v roce 2013 (1,61 t.ha⁻¹)^b. Ve 3. seči byla zjištěna produkce v roce 2011 (5,51 t.ha⁻¹)^a, v roce 2012 (2,70 t.ha⁻¹)^b a v roce 2013 (2,24 t.ha⁻¹)^c. Největší variabilitu vyjádřenou variačním koeficientem za 3 užitkové roky vykazovala produkce SH ve 3. seči (46 %, s m. odc hylka 1,60 t.ha⁻¹), me nší v variabilita byla v produkci SH ve 2. seči (41 %, sm. odchylka 1,30 t.ha⁻¹) a nejmenší variabilita v produkci SH byla zjištěna v 1. seči (29 %, sm. odchylka 1,80 t.ha⁻¹). Rozdíly v produkci mezi jednotlivými ekotypy si vysvětlujeme také podmínkami, z nichž pocházejí. Podle /2/ mají ekotypy pocházející s vlhčích stanovišť větší citlivost vůči podmínkám sucha, což souvisí také se symbiotickými interakcemi mezi rostlinami a endofytními houbami.

Na základě hodnocení **začátku metání** můžeme všechny položky zařadit mezi středně rané. Rozdíl mezi nejdříve a nejpozději metající položkou činil 11 dnů. Jak uvádí /8/, mezi odrudami jílku vytrvalého může rozdíl v ranosti činit i více než 30 dnů. Podle **intenzity metání** můžeme soubor všech položek v průměru hodnocení let 2011–2013 rozdělit na silně metající (cv. 'Barutti', 44/09, 46/09, 49/09, 51/09), středně metající (cv. 'Olaf', 31/96, 95/04, 55/06, 56/06, 21/08, 43/09, 45/09, 47/09, 48/09, 50/09) a slabě metající (27/96, 34/96, 135/99).



Graf 1: Produkce suché hmoty v jednotlivých sečích u jílku vytrvalého na stanovišti Zubří v průměru let 2011–2013.

V souboru vybraných ekotypů jílku vytrvalého z kolekce genetických zdrojů trav byly nalezeny materiály s es rovnatelnou produkcí suché hmoty v třísečné variantě jako kontrolní odrůdy také ve stresových podmínkách způsobených nedostatkem srážek zejména ve druhém užitkovém roce. Všechny hodnocené materiály jsou pro šlechtitele a v ýzkumné instituce dostupné prostřednictvím on-line informačního systému Evidence genetických zdrojů rostlin ČR na adrese: <http://genbank.vurv.cz/genetic/resources/>.

LITERATURA

/1/ Cagaš, B., Frydrych, J., Macháč, R.: Univerzalita travních porostů její využití v České republice. In Ekológia trávneho porastu VII – medzinárodná vedecká konferencia. SCPV – VUTPHP, Banská Bystrica, 2007: 404-410.

- /2/ Hesse, U. et al.: Effects of Neotyphodium endophytes on growth, reproduction and drought-stress tolerance of three *Lolium perenne* L. genotypes. *Grass and Forage Science*, 58 (4), 2003: 407–415.
- /3/ Humphreys, M. et al.: Ryegrasses. In: Boller, B., Ulrich K.P., Veronesi, F., Fodder Crops and Amenity Grasses. Springer, London, 2010: 211–260.
- /4/ Kemešyte, V. et al. Evaluation of *Lolium perenne* L. wild ecotypes of Ukrainian origin in Lithuania. *Agronomy Research* [online], 8, Special issue 3, 2010. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://agronomy.emu.ee/vol08Spec3/p08s313.pdf>
- /5/ Novák, J. Pásienky, lúky a trávniky. *Patria*, Prievidza, 2008: 708.
- /6/ Pelikán, J., Ševčíková, M., Lošák, M.: Metodika řešení kolekce genetických zdrojů pícnin a trav. In: Dotlačil, L. et al.: Rámcová metodika Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin a agro-biodiversity. Praha, VÚRV, 2009: 212–225.
- /7/ Roudná, M., Dotlačil, L.: Genetické zdroje – význam, využívání a ochrana. Praha, MŽP, 2007: 28.
- /8/ Ševčíková, M.: Pěstované rody a druhy trav. In: Čagaš, B. Trávy pěstované na semeno. Petr Baštan, Olomouc, 2010: 29–87.
- /9/ Ševčíková, M., Šrámek, P., Faberová, I.: Klasifikátor. Trávy (Poaceae). Praha, VÚRV, 2002: 34.
- /10/ Tobi, D. et al. Effect of heading date, ploidy level and cutting regime on yield and feed quality of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) in Grassland farming and land management systems in mountainous regions. European Grassland Federation, Raumberg-Gumpenstein, 2011: 184–186.

Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory MZe v rámci řešení Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin a agro-biodiversity.

SROVNÁNÍ VYBRANÝCH ČÍNSKÝCH A ČESKÝCH GENOTYPŮ PŠENICE OZIMÉ V PODMÍNKÁCH STRESU SUCHEM

COMPARISON OF CHINESE AND CZECH GENOTYPES OF WINTER WHEAT IN CONDITIONS OF DROUGHT STRESS

Markéta Mayerová, Iva Stehlíková, Mikuláš Madaras

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně, Česká republika,
mayerova@vurv.cz

Summary

Drought stress response of three Czech varieties and eleven Chinese winter wheat genotypes (bred for saline soils) was examined in a pot experiment. A drought period was induced in three different growth stages within BBCH 16 and BBCH 59-69. We evaluated visual state of stressed plants during the experiment; above-ground biomass at the end of the experiment was compared to the treatment without water stress. Plants were the most sensitive to drought since the beginning of booting till the end of heading. The response of varieties differed, the highest significant differences were observed for Czech varieties Bohemia and Elly and for Chinese varieties Dong 8 and Dong 15. The differences between treatments were lower for Chinese varieties of shorter stem and lower biomass production. Based on results it can be expected, that these genotypes can be more successful in overcoming drought periods.

Key words: winter wheat, Triticum aestivum, drought resistance, varieties

Souhrn

Jedenáct čínských genotypů pšenice ozimé, šlechtěných a pěstovaných v regionech s výrazným půdním zasolením, a tři české odrůdy jsme v nádobovém skleníkovém pokusu testovali na odolnost vůči suchu ve třech fázích růstu v rozmezí BBCH 16 do BBCH 59-69. Byla hodnocena kondice rostlin a sušina nadzemní biomasy na konci pokusu oproti variantě bez vodního stresu. Největší negativní vliv na další vývoj rostlin měla perioda sucha od fáze naduření listové pochvy po konec metání. Reakce odrůd byla rozdílná. Největší průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami byly u českých odrůd Elly a Bohemia, u čínských odrůd Dong 8 a Dong 15. Další čínské odrůdy dosahovaly nižšího vzrůstu a hmotnosti sušiny než odrůdy české a zároveň vykazovaly menší rozdíly mezi variantami. Lze předpokládat, že tyto odrůdy budou potenciálně úspěšnější při překonávání stresu sucha.

Klíčová slova: pšenice ozimá, Triticum aestivum, suchovzdornost, odrůdy

ÚVOD

Sucho je nejvýznamnějším stresovým faktorem současného zemědělství, proto se hledání odolných genotypů a zlepšování výnosů plodin v podmínkách snížené dostupnosti vody věnuje velké úsilí /4/. K testování vhodných genotypů lze využít různé indikátory nebo zjednodušující koncepce, i když kvůli komplexnímu charakteru adaptace na suchu je nezbytné testování v polních podmínkách /3/. Testování materiálů zahrnuje celou škálu různých parametrů, založených např. na hodnocení diskriminace izotopu ¹³C / 1,8/, hodnocení vlastností semen a klíčících rostlin /2,7/, měření fyziologických a morfologických parametrů v hydroponických a nádobových pokusech /5/, sledování fyziologické odezvy rostliny během stresu /9/ a jiné /1/.

Testování fyziologických mechanismů reakce na sucho je často prováděno v určité fázi růstu rostlin, i když je známo, že reakce na stres suchem je silně závislá na fázi, ve které se rostlina nachází /3/, což souvisí s různými mechanismy reakce rostliny. Cílem našeho výzkumu bylo prověřit ve screeningovém nádobovém pokusu reakci na stres suchem ve třech fázích růstu pšenice ozimé. Adaptace rostlin na sucho má množství společných znaků s adaptací na zasolení, jelikož v obou případech jsou rostliny přizpůsobeny pro růst v prostředí se sníženou přístupností vody /6/. Proto bylo dalším cílem pokusu prověřit suchovzdornost několika genotypů ozimé pšenice přizpůsobených růstu v zasolených půdách.

MATERIÁL A METODA

V rámci spolupráce se zemědělským institutem v Dong-Yingu (provincie Shan Dong, východní Čína) byly získány odrůdy pšenice ozimé šlechtěné pro pěstování na zasolených půdách delty Žluté řeky a další odrůdy tohoto regionu. V nádobovém skleníkovém experimentu jsme testovali 11 čínských a 3 kontrolní české odrůdy na odolnost vůči stresu suchem (Tab.1). Pokus probíhal ve 4 variantách (každá opakovaná 4×): **A:** perioda sucha 14 dní od BBCH 16-21 do BBCH 31, **B:** perioda sucha 29 dní od BBCH 43-45 do BBCH 55-59, **C:** perioda sucha 14 dní od BBCH 61-65 do ukončení pokusu, **D:** zalévaná kontrola.

Jarovizované rostliny vybraných odrůd ve fázi BBCH 13 jsme odebrali z polního pokusu a vysadili do květináčků 5×5×8 cm se směsí půdy, písku a rašeliny (Tab. 2), v počtu 4 rostliny na květináček. Rostliny v kontrolní variantě a variantách mimo periodu sucha jsme pěstovali v režimu optimální závlivky (75 % plného nasycení půdy). Variantu v období periody sucha jsme zalili vždy při dosažení bodu vadnutí u více než poloviny rostlin množstvím vody 10 ml na květináč. Obsah vody v půdě jsme stanovovali vážením květináčů s rostlinami (od zjištěné hmotnosti jsme odečetli hmotnost květináče a suché půdy v květináči). Během pokusu jsme všechny varianty 3-krát ošetřili proti padlí přípravky Atlas (3.5.), Tango (10.5.) Archer (13.6.). V průběhu pokusu jsme hodnotili fenologické fáze a stupeň zavadnutí v subjektivní škále 1–6 (1 = žádné známky zavadnutí, 6 = velmi silné zavadnutí). Po ukončení pokusu jsme hodnotili fenologickou fázi BBCH, délku rostlin a hmotnost sušiny na dzemní biomasy. Parametry ze závěrečného hodnocení byly statisticky zpracovány metodou vícefaktorové analýzy variance. Pro doplnění jsou výsledky nádobového pokusu s rovnány s měřením obsahu izotopu ¹³C v zrnu odrůd pěstovaných v polních podmínkách.

Tab. 1: Seznam odrůd

	Odrůda
1	Mulan (CZ)
2	Elly (CZ)
3	Bohemia (CZ)
4	Dong Ying 3
5	Dong Ying 6
6	Dong Ying 8
7	Dong Ying 10
8	Dong Ying 14
9	Lu Mai 13
10	Dong 3
11	Dong 8
12	Dong 15
13	Dong 16
14	Ai Kng 58
15	Meng Guan 36

Tab. 2: Obsah přístupných živin v půdě (mg/kg)

N _{min}	K	P	Ca	Mg
25	162,2	151,6	3164	101,5

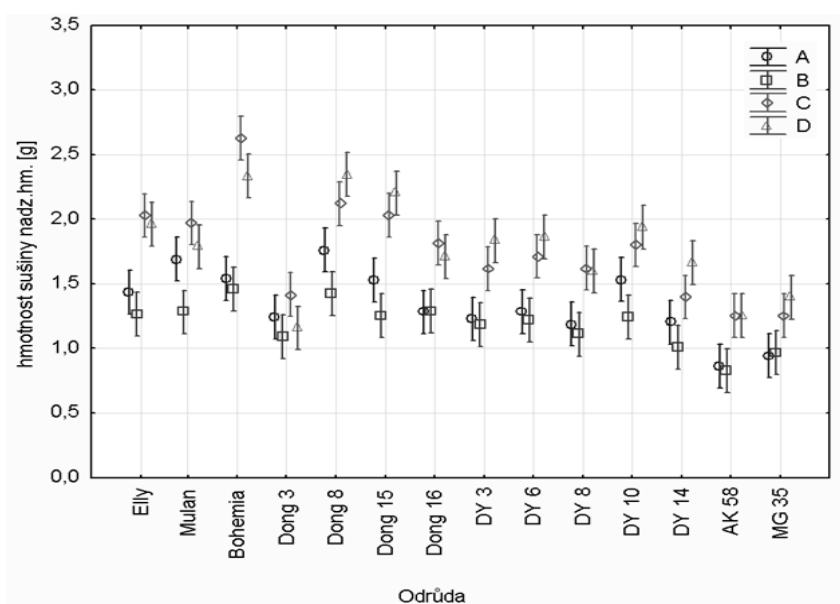
VÝSLEDKY A DISKUSE

Vliv odrůdy a varianty se ukázal s tatisticky v ýznamný p ro v šechny s ledované parametry. Největší negativní vliv na další vývoj rostlin měla perioda sucha B – tj. od fáze naduření listové pochvy po konec metání. To dokládá i skutečnost, že u většiny odrůd byl v této variantě největší podíl rostlin, které nevytvořily vůbec klasy nebo měly sterilní květy. Zpomalení vývoje rostlin u varianty B dokazuje také hodnocení fenologických fází (Tab. 3).

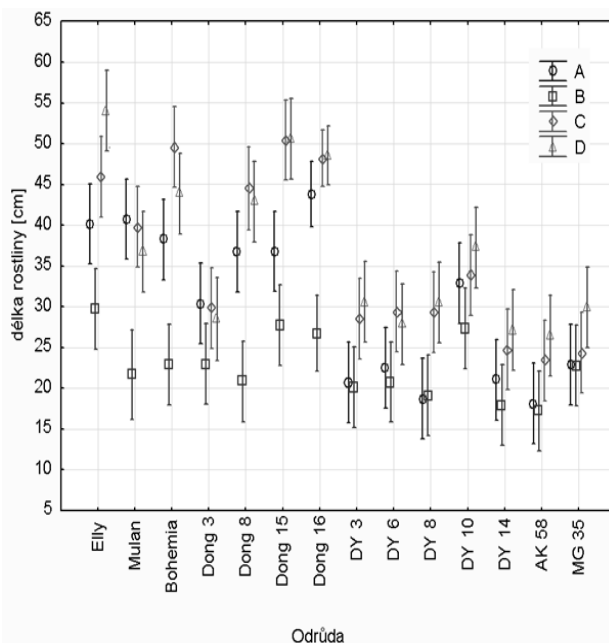
Tab.3: Fenofáze (BBCH)ke dni ukončení pokusu

	A			B			C			D		
	min.	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.	průměr	max.
Elly	59	61	61	45	59	59	59	61	65	59	61	65
Mulan	59	59	61	43	57	59	45	59	61	59	59	61
Bohemia	59	59	59	43	59	59	59	59	61	59	59	61
Dong 3	59	59	61	43	69	71	43	69	69	43	69	69
Dong 8	59	59	61	41	43	43	49	59	71	57	59	65
Dong 15	59	61	69	43	59	59	69	69	71	69	69	71
Dong 16	45	69	69	45	69	69	69	69	71	69	69	71
DY 3	69	69	69	43	45	49	59	59	71	59	69	71
DY 6	69	69	69	45	45	45	59	59	69	59	69	71
DY 8	69	69	69	43	45	61	45	59	69	59	69	71
DY 10	69	69	69	43	45	59	59	59	71	59	69	71
DY 14	69	69	69	43	43	59	43	59	69	69	69	71
AK 58	69	69	69	45	45	59	69	69	71	69	69	71
MG 36	69	69	71	45		85	45	69	83	69	75	75

Z Grafu 1 vyplývá, že načasování stresu suchem mělo na hmotnost sušiny u jednotlivých odrůd různý vliv. Největší průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami byly u českých odrůd Elly a Bohemia, u čínských odrůd Dong 8 a Dong 15. Průměrně dosahovaly čínské odrůdy nižší hmotnosti sušiny než odrůdy české (kromě Dong 8 a Dong 15), ale vykazovaly menší rozdíly mezi variantami. To se týká zejména odrůd Meng Guan 35, Ai Kang 58a Dong 3. Odrůda Dong 3 si pro další zkoumání zaslouží zvýšenou pozornost vzhledem k tomu, že varianty nevykazovaly žádné statisticky významné rozdíly.



Graf 1: Vliv odrůdy a varianty na hmotnost sušiny. Délka svorky = interval spolehlivosti 0,95.



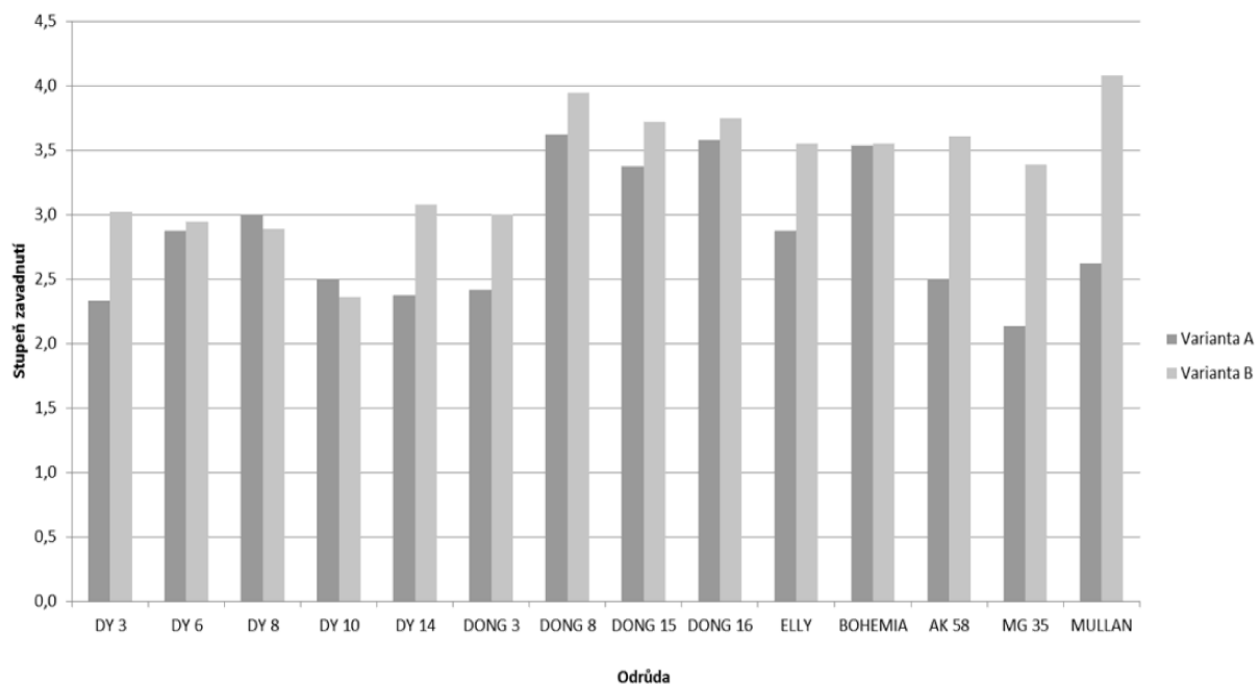
Graf 2: Vliv odrůdy a varianty na délku rostliny. Délka svorky=interval spolehlivosti 0,95.

Vliv varianty sušení na délku rostlin (Graf 2) byl také významně rozdílný u jednotlivých odrůd. Stejně jako u hmotnosti byly největší rozdíly mezi variantami u českých odrůd Elly a Bohemia, u čínských odrůd Dong 8 a Dong 15. Ostatní čínské odrůdy vykazovaly malé nebo statisticky neprůkazné rozdíly mezi variantami. Podobné výsledky čínských materiálů Dong 15 a Dong 8 s českými odrůdami jsou zřejmě způsobeny jejich genetickou příbuzností s českou odrůdou Elly, která byla potvrzena metodou analýzy mikrosatelitů. Z grafu 1 je také patrné, že vývoj českých odrůd Elly, Mulan, Bohemia a odrůd Dong 8, 15 a 16 byl významně zabrzděn u varianty B. Pro tyto odrůdy je tedy limitující stres sucha zejména ve fázi naduření listové pochvy a ve fázi metání, stres ve fázi odnožování jsou schopny při dalším růstu částečně kompenzovat. U ostatních čínských odrůd nebyl mezi variantami A a B významný rozdíl, tyto odrůdy jsou schopny odolávat suchu v různých fázích vývoje přibližně stejně. Stres navozený od fáze kvetení (var. C) neměl u většiny odrůd statisticky významný vliv, což ukazuje na snížení intenzity fotosyntézy a transpirace v této fázi /5/.

Čínské odrůdy, u kterých se projeví nejmenší rozdíly mezi variantami, lze považovat jako potenciálně úspěšné při překonávání stresu sucha. Jedná se zejména o odrůdy typu Dong Ying (DY), Dong 3, Meng Guan 35 a A i Kang 58. Tyto výsledky korespondují i s subjektivním hodnocením kondice rostlin, které jsme prováděli hodnocením stupně zavadnutí. Z grafu 2 je patrné, že nejmenšího stupně zavadnutí dosahovaly odrůdy typu DY a Dong 3.

Výsledky nádobového pokusu částečně korespondovaly s hodnotami $\delta^{13}\text{C}$, zjištěnými ze zrna odrůd pěstovaných v polních podmínkách. Výrazně se projevil vliv regionálního původu odrůd /8/. Odrůdy s nejnižší diskriminací ^{13}C byly odrůdy typu DY, které se i v nádobovém pokusu jeví jako materiály se zvýšenou odolností vůči suchu. U českých odrůd byla naopak diskriminace ^{13}C nejvyšší. Byla zjištěna souvislost mezi nízkými hodnotami $\delta^{13}\text{C}$ a vyšší efektivností využití vody (water use efficiency WUE) /1/, můžeme proto předpokládat, že u sledovaných odrůd typu Dong Ying je WUE vyšší a tyto odrůdy jsou schopny lépe hospodařit s vodou.

Protože podmínky nádobových pokusů jsou odlišné od polních podmínek, budeme genotypy vybrané v tomto screeningovém pokusu dále testovat v polních pokusech.



Graf 3: Průměrná kondice odrůd (střední zavadnutí) během období sucha A B.

LITERATURA

- /1/ Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., Royo, C.: Plant breeding and drought in C₃ cereals: what should we breed for? *Annals of Botany* 89, 2002: 925–940.
- /2/ Bláha, L., Vyvadilová, M.: Metodika testování vlastností semen a klíčících rostlin na odolnost vůči fyzikálním stresorům pro selekci genetických zdrojů řepky ozimé. VÚRV v.v.i., Praha, 2012.
- /3/ Blum A.: Towards standard assays of drought resistance in crop plants. In: Ribaut J.M., Poland D. (eds): *Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments*, Mexico, 1999: 29–35.
- /4/ Cattivelli L., Rizza F., Badeck F.W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Marè C., Tondelli A., Stanca A.M.: Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Research* 105, 2008:1–14.
- /5/ Hnilička, F., Petr, J.: The effect of abiotic stresses on the rate of photosynthesis, transpiration and water use efficiency (WUE) in wheat plants during ontogeny. *Scientia Agriculturae Bohemica* 34, 2003: 41–47.
- /6/ Munns, R.: Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. In: Turkan, I. (ed.): *Advances in Botanical Research: Plant Responses to Drought and Salinity Stress: Developments in a Post-genomic Era*. Academic Press, London, 2011.
- /7/ Pazderů, K., Al-Muntaser, S., Al-Khewani, T., Hassan, S.T.S.: Vitalita osiv a klíčení ve stresových podmínkách. In: Hnilička F. (ed.): *Vliv biotických a abiotických stresorů na vlastnosti rostlin*, Praha, 2011: 44–47.
- /8/ Stehno Z., Dotlačil L., Hermuth J., Raimanová I.: Genofond pšenice jako zdroj genetické variability pro adaptaci odrůd k měnícím se podmínkám klimatu. In: Salaš, P. (ed.): *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*. Úroda, 2011, vědecká příloha časopisu: 569–577.
- /9/ Vlasáková, E., Prášil, I., Melišová, L.: Hodnocení obsahu ABA během několika růstových fází rostlin pšenice ozimé v podmínkách dlouhotrvajícího sucha. In: Bláha, L., Hnilička, F. (ed.): *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha - Ruzyně, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011: 113–116.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu LH 12159.

VLIV HERBICIDNÍHO OŠETŘENÍ V DLOUHODOBÉM POLNÍM POKUSU

INFLUENCE OF HERBICIDE USE ON WEED COMMUNITIES IN THE LONG-TERM FIELD TRIAL

Markéta Mayerová

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně, Česká republika,
mayerova@vurv.cz

Summary

Weed communities on arable land have been influenced by farming practices, especially by long-term herbicide usage. This work is focused on assessment of long-term field trial in two experimental stations of Crop Research Institute, Pernolet and Hněvčev. The aim of this study is to evaluate the influences of crop rotation and herbicide treatment on weed communities and compare variants without treatment with herbicide treatment variants. After 40 years significant changes of weed composition were found out on monitored localities in all variants, but total weediness did not decrease.

Keywords: herbicide, changes, long - term trial, weed communities

Souhrn

Technologie pěstování zemědělských plodin, zejména dlouhodobé používání herbicidních přípravků, významně ovlivňuje složení plevelových společenstev. Práce se zabývá vyhodnocením dlouhodobého polního pokusu, který je prováděn na dvou pokusných stanicích Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Pernolci a Hněvčevsi. Cílem pokusu je zhodnotit vliv osevních sledů a herbicidů na plevelová společenstva a srovnat neošetřované varianty s variantami ošetřovanými herbicidy. Po více než 40 letech trvání pokusu byly zjištěny rozdíly v druhovém složení plevelů na všech variantách obou lokalit, celkové zaplevelení se ale nesnížilo.

Klíčová slova: dlouhodobý pokus, herbicidy, plevelová společenstva, změny

ÚVOD

Složení společenstev plevelů je krátkodobě i dlouhodobě ovlivňováno jak přírodními podmínkami, tak uplatňovanými technologiemi pěstování zemědělských plodin. Ukazuje se, že způsob hospodaření má na diverzitu plevelů často větší vliv než přírodní podmínky /5,7/. V posledních 50 letech pravděpodobně nejvýrazněji ovlivnilo složení druhového spektra používání herbicidů /1/. Každá skupina herbicidů ovlivňuje plevelová společenstva jinak, přičemž opět dochází k interakcím se zvolenou agrotechnikou /9/. Práce mnoha autorů ukazují na zúžení druhového spektra plevelů s převahou několika dominantních druhů, odolných vůči zvoleným herbicidům, při současném zachování celkového zaplevelení /7,4/. Např. /4/ pozoroval na 80-ti finských polích mezi roky 1980–90 jen nízké snížení zaplevelení v jarních obilninách při zvýšeném výskytu *Galium spurium* a *Viola arvensis*, které vysvětluje nahrazením růstových herbicidů sulfonylmočoviny. Některé práce naznačují, že dlouhodobé užívání herbicidů sice vede ke změnám v zastoupení jednotlivých plevelových druhů, ale celková diverzita neklesá /2,3,6/. Hodnocení dlouhodobého pokusu /3/ ukazuje, že po 36 letech a aplikaci herbicidu 2,4-D došlo ke změnám v kvantitativním rozložení

jednotlivých druhů společenstva, ale počet druhů se nezměnil, ani se neobjevily žádné nové dominantní plevele. Výsledky výzkumů zabývajících se změnami plevelových společenstev nejsou tedy úplně jednoznačné. Vyhodnocení dlouhodobého pokusu, který je provozován více než 40 let na pozemcích Výzkumného ústavu rostlinné výroby, by mohlo přispět k širšímu pochopení dlouhodobých změn v agrofytocenózách.

MATERIÁL A METODIKA

V letech 1971 a 1972 byl založen na lokalitách Hněvčeves (řepařská výrobní oblast) a Pernolec (bramborářská výrobní oblast) dlouhodobý stacionární pokus s cílem sledovat změny plevelných společenstev vlivem dlouhodobého herbicidního ošetření. Pokus je rozdělen na dvě části podle uplatňovaných osevních postupů: část obilnářská (O) s převahou obilnin a část se střídavým osevním postupem (S). V rámci obilnářského osevního postupu jsou 3 varianty - 1. kontrola bez ošetření herbicidy (varianta **21**), 2. ošetření převážně syntetickými auxiny (varianta **22**) a 3. ošetření kombinací herbicidů (varianta **23**). Na části se střídavým osevním postupem jsou 2 varianty - 1. kontrola bez ošetření (varianta **11**), 2. ošetření kombinací herbicidů (varianta **12**). Každá varianta má 4 opakování, velikost parcelky je 100 m². Na všech variantách je prováděna stejná agrotechnika (zpracování půdy, hnojení, fungicidy) doporučená pro dané lokality. Aplikované herbicidy se v průběhu let měnily podle pěstované plodiny, aktuálního zaplevelení a tržní nabídky. Byly ale voleny přípravky s podobným mechanismem účinku. Např. v obilninách na variantě 22 syntetické auxiny (MCPA, 2,4 -D, dicamba), na variantě 23 kombinace syntetických auxinů s inhibitory fotosyntézy (zejm. substituované močoviny), sulfonylmočoviny (inhibitory ALS) nebo inhibitory acetyl C o-A karboxylázy, na variantě 11 syntetické auxiny a jejich kombinace převážně s inhibitory fotosyntézy a sulfonylmočoviny.

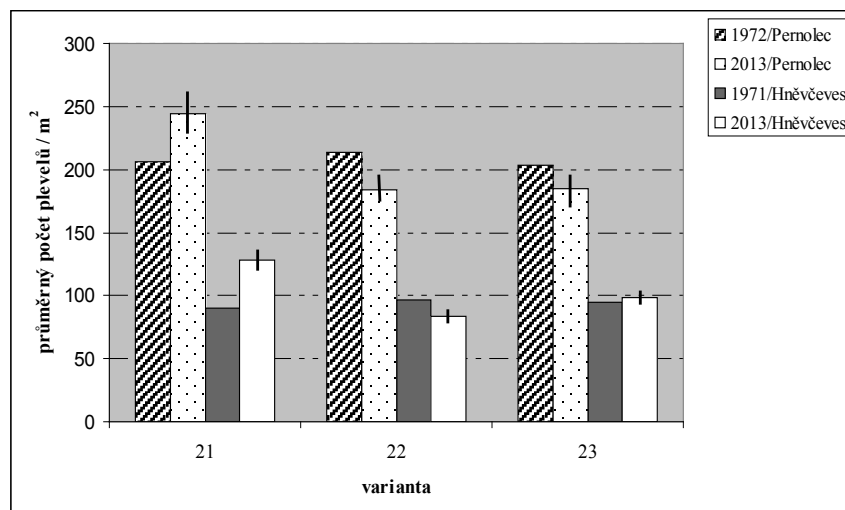
Na počátku pokusu bylo provedeno podrobné hodnocení plevelného spektra početní metodou (počet jednotlivých druhů/jednotku plochy), během trvání pokusu bylo hodnocení prováděno průběžně, přičemž počty plevelných druhů byly hodnoceny přibližně v 5-ti letých intervalech a v ostatních letech bylo hodnoceno z ejména dominantních druhů. Od roku 2012 probíhá na obou lokalitách opět podrobné sledování plevelného spektra, a to na jaře a na podzim, vždy před a po aplikaci herbicidů. Hodnocení je prováděno na náhodně vybraných čtvercových plochách o rozměrech 0,25 m², na každé parcele vždy 4 hodnocení. Hodnocení je jednak počet jednotlivých plevelů, jednak pokryvnost.

Aby bylo postiženo plevelové spektrum napříč pěstovanými plodinami, bude hodnocení probíhat ještě v dalších letech. V této práci je prezentováno srovnání plevelového spektra na počátku pokusu a v roce 2013 na honu s obilnářským osevním postupem, kde bylo možné porovnat plevelová společenstva v ozimých obilninách.

Pro vyjádření druhové diverzity byl použit Shannonův index H' a pro kvantitativní vyjádření vyrovnanosti distribuce jedinců Shannonův evenness index $E'/8$.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Za posledních 40 let došlo na obou sledovaných lokalitách k výrazným změnám plevelného spektra, přičemž ale celkové zaplevelení významně nekleslo. Na stanovišti Pernolec je od počátku založení pokusu celkově vyšší zaplevelenost. Na kontrolních variantách se počet plevelů zvýšil na obou stanovištích, v Pernolci o 18 %, v Hněvčevsi o 42 %. Na ošetřených variantách se zaplevelení významněji snížilo jen na lokalitě Pernolec (o 14 % na variantě s ošetřením syntetickými auxiny a o 9 % na variantě ošetřené kombinací herbicidů), kdežto na lokalitě Hněvčeves se zaplevelení udrželo téměř na původní úrovni. (Graf 1)



Graf 1: Průměrný počet plevelů na sledovaných lokalitách (čára znázorňuje směrodatnou odchylku, která je vypočítána jen pro rok 2013, protože pro rok 1972/73 nejsou dostupná zdrojová data).

Mnohem více než celkové zaplevelení se změnilo druhové složení plevelných společenstev. K větším změnám v druhovém zastoupení plevelů došlo na stanici Pernolec (Tab.1). Po 40 letech trvání pokusu již nenalezneme např. tyto taxony: *Geranium pusillum*, *Raphanus raphanistrum* a *Scleranthus annuus*, nově se objevily např. *Papaver rhoeas*, *Thlaspi arvense*, *Lithospermum arvense*, výrazně se zvýšila početnost druhů *Veronica ssp.* a *Tripleusp. inodorum*. *Viola arvensis* a *Apera spica-venti* zůstávají dominantními druhy u všech variant. V Hněvčevsi (Tab.2) se změny týkají zejména početnosti jednotlivých druhů. Zatímco na počátku pokusu dominoval druh *Thlaspi arvense*, *Papaver rhoeas* a *Stelaria media*, v současnosti převažuje *Galium aparine*, *Lamium purpureum* a *Veronica ssp.* Z pokusu téměř vymizely druhy jako např. *Matricaria chamomilla*.

Tab. 1: Dominantní plevele v Pernolci – relativní zastoupení druhu (%)

neošetřená kontrola				varianta ošetřená syntetic.auxiny				varianta ošetřená kombinací herbicidů			
21/1972		21/2013		22/1972		22/2013		23/1972		23/2013	
<i>Viola arvensis</i>	53	<i>Apera s pica - venti</i>	34	<i>Viola arvensis</i>	50	<i>Apera s pica - venti</i>	36	<i>Viola arvensis</i>	62	<i>Apera s pica - venti</i>	43
<i>Erophila verna</i>	9	<i>Tripleusp. indorum</i>	30	<i>Erophila verna</i>	10	<i>Tripleusp. indorum</i>	16	<i>Erophila verna</i>	8	<i>Veronica ssp.</i>	12
<i>Arabidopsis thaliana</i>	7	<i>Veronica ssp.</i>	9	<i>Apera s pica-venti</i>	9	<i>Viola arvensis</i>	10	<i>Apera spica-venti</i>	7	<i>Viola arvensis</i>	10
<i>Polygonum aviculare</i>	6	<i>Centaurea cyanus</i>	5	<i>Arabidopsis thaliana</i>	8	<i>Galeopsis tetrahit</i>	9	<i>Arabidopsis thaliana</i>	5	<i>Galeopsis tetrahit</i>	10
<i>Apera spica-venti</i>	5	<i>Galeopsis tetrahit</i>	5	<i>Polygonum aviculare</i>	6	<i>Veronica ssp.</i>	6	<i>Polygonum aviculare</i>	4	<i>Tripleusp. indorum</i>	8
<i>Myosotis arvensis</i>	3	<i>Viola arvensis</i>	4	<i>Veronica hederifolia</i>	4	<i>Centaurea cyanus</i>	4	<i>Spergula arvensis</i>	4	<i>Centaurea cyanus</i>	3
<i>Spergula arvensis</i>	3	<i>Lamium amplexicaule</i>	3	<i>Spergula arvensis</i>	4	<i>Lamium amplexicaule</i>	3	<i>Myosotis arvensis</i>	3	<i>Lamium amplexicaule</i>	3

Druhová diverzita vyjádřená Shannonovým indexem H' (tab.3) na počátku pokusu byla na všech variantách o bou lokalit statisticky stejná, s výjimkou varianty následně ošetřované kombinací herbicidů na lokalitě Pernolec, kde byla hodnota o 0,3 nižší než u ostatních variant. Po více než 40 letech trvání pokusu se diverzita zvýšila na kontrole i variantách ošetřovaných herbicidy, což nepotvrzuje předpoklad, že aplikace herbicidů vede ke snižování počtu

plevelových druhů v agrofytocenózách /7, 4/. Ani co se týče vyrovnanosti druhů nebyly zjištěny významné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Shannonův evenness index H' (tab. 3) se na lokalitě Pernolec pohybuje mezi hodnotami 0,5–0,7, v Hněvčevsi 0,65–0,77.

Tab. 2: Dominantní plevele v Hněvčevsi – relativní zastoupení druhu (%)

neošetřená kontrola				varianta ošetřená syntetic.auxiny				varianta ošetřená kombinací herbicidů			
21/1971		21/2013		22/1972		22/2013		23/1972		23/2013	
<i>Thlaspi arvense</i>	39	<i>Galium aparine</i>	40	<i>Thlaspi arvense</i>	39	<i>Galium aparine</i>	40	<i>Thlaspi arvense</i>	42	<i>Veronica ssp.</i>	54
<i>Papaver rhoeas</i>	14	<i>Veronica ssp.</i>	22	<i>Stelaria media</i>	12	<i>Veronica ssp.</i>	30	<i>Stelaria media</i>	9	<i>Galium aparine</i>	18
<i>Stelaria media</i>	11	<i>Lamium purpureum</i>	17	<i>Papaver rhoeas</i>	11	<i>Lamium purpureum</i>	15	<i>Papaver rhoeas</i>	9	<i>Lamium purpureum</i>	10
<i>Lamium amplex.et purpureum</i>	8	<i>Stelaria media</i>	10	<i>Lamium amplex.et purpureum</i>	8	<i>Stelaria media</i>	7	<i>Lamium purpureum</i>	8	<i>Stelaria media</i>	7
<i>Fallopia convolvulus</i>	6	<i>Papaver rhoeas</i>	5	<i>Veronica ssp.</i>	7	<i>Papaver rhoeas</i>	3	<i>Matricaria chamomilla</i>	8	<i>Papaver rhoeas</i>	4
<i>Veronica ssp.</i>	6			<i>Matricaria chamomilla</i>	4			<i>Veronica ssp.</i>	6		

Tab.3: Srovnání diverzity plevelového společenstva ve sledovaných letech

	21/výchozí stav	21/2013	21/výchozí stav	22/2013	23/výchozí stav	23/2013
Shannon's H'						
Pernolec	1,84	2,01	1,8	2,19	1,53	1,99
Hněvčeves	1,61	1,76	1,58	1,61	1,5	1,62
Shannon's E						
Pernolec	0,6	0,67	0,6	0,72	0,5	0,7
Hněvčeves	0,77	0,71	0,76	0,65	0,72	0,65

LITERATURA

- /1/ Grundy, A.C., Mead, A., Bond, W., Clark, G., Burston, S.: The impact of herbicide management on long-term changes in the diversity and species composition of weed populations. *Weed Research*, 51, 2010: 187–200.
- /2/ Derksen, D.A., Thomas, A.G., Lafond, G.P., Loepky, H.A. et Swanton, C.J.: Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation-tillage systems. *Weed Research*, 35, 1994: 311–320.
- /3/ Hume, L.: Long-term effects of 2,4-D application on plants. I. Effects on the weed community in wheat crop. *Canadian Journal of Botany*, 65, 1987: 2530–2536.
- /4/ Hyvönen, T., Ketoje, E., Salonen, J.: Changes in the abundance of weeds in spring cereal fields in Finland. *Weed Research* 43, 2003: 348–356.
- /5/ L'égère, A., Stevenson, F.C., Bendit, D.L.: Diversity and assembly of weed communities: contrasting responses across cropping systems. *Weed Research*, 45, 2004: 303–315.
- /6/ Mayor, J.P., Dessaint, F.: Influence of weed management strategies on soil seedbank diversity. *Weed Research* 38, 1997: 95–105.
- /7/ Mikulka, J., Korčáková, M., Burešová, V., Andr, J.: Changes in weed species spectrum of perennial weeds on arable land, meadow and pastures. *Plant Protection Science*, 45, 2009: 63–66.
- /8/ Moravec J.et al.: Fytocenologie. Academia Praha, 1994: 403.
- /9/ Murphy, C.E., Lemerle, D.: Continuous cropping systems and weed selection. *Euphytica*, 148, 2006: 61–73.

Poděkování:

Práce je řešena v rámci etapy výzkumného záměru VÚRV v.v.i. (MZE 0002700604).

VPLYV IÓNOV KADMIA, NIKLU A ZINKU NA VYBRANÉ UKAZOVATELE RASTLINNÉHO STRESU V KOREŇOCH KUKURICE

INFLUENCE OF IONS OF CADMIUM, NICKEL AND ZINC ON CHOSEN INDICATORS OF PLANT STRESS IN MAIZE ROOTS

Patrik Mészáros¹, Roman Kuna¹, Ildikó Matušiková²

¹Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, F PV, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie mládeže 91, Slovenská republika, 949 74 Nitra, pmeszaros@ukf.sk

²Slovenská akadémia vied, Ústav genetiky a biotechnológií rastlín, Akademická 2, 950 07 Nitra, Slovenská republika

Summary

The objective of this study was to investigate the effect of heavy metals (Cd, Ni, Zn) and their combinations on some physiological and biochemical parameters of maize (*Zea mays* L. cv. Premiya) roots. Seedlings grown in hydroponics conditions were exposed to 2×10^{-6} M Cd^{2+} , 2×10^{-6} M Ni^{2+} and 10^{-5} M Zn^{2+} in the form of their sulphate solutions (pH 5.8). After 4 days the applied metals decreased the root biomass up to 51% (Cd-Ni-Zn, Cd-Zn), while the highest tolerance of roots was observed by Zn (97%). Most obviously the root length was affected, since it was decreased significantly by each treatment below 48% up to 27% (except for Zn, 89%). Surprisingly, except for Zn there were no significant changes detected either in the rate of lipid peroxidation or in the content of proline. However, there were remarkable changes observed in the activity of defense enzymes – chitinases and glucanases.

Key words: heavy metals, toxicity, plant defense, Zea mays, chitinase, glucanase

Súhrn

Cieľom našich experimentov bolo študovať vplyv iónov ťažkých kovov (Cd, Ni, Zn) a ich kombinácií na vybrané fyziologické a biochemické parametre koreňov kukurice (*Zea mays* L. cv. Premiya). Rastliny, pestované v hydroponii, boli vystavené 2×10^{-6} M kadmiumu, 2×10^{-6} M niklu a 10^{-5} M zinku vo forme ich síranových roztokov (pH 5.8). Po 4 dňoch inkubácie aplikované kovy znížili hmotnosť koreňov až na 51 % (Cd-Ni-Zn, Cd-Zn), pričom najvyššiu toleranciu sme zaznamenali pri zinku (97 %). Dĺžka koreňov bola signifikantne redukovaná až na 27 % (okrem Zn, 89 %). Testované koncentrácie ťažkých kovov nespôsobili preukázateľné zmeny v miere peroxidácie membránových lipidov ani v obsahu prolínu, avšak vyvolali štatisticky významné zmeny v aktivite obranných enzýmov chitináz a glukanáz.

Kľúčové slová: ťažké kovy, toxicita, obrana rastlín, Zea mays, chitinázy, glukanázy

ÚVOD

Ťažké kovy patria medzi hlavné kontaminanty životného prostredia. Väčšina rastlín reaguje na ich toxicitu hlavne zníženou produkciou biomasy /1/. Ťažké kovy sú schopné reagovať so zložkami membrán, pričom môžu zmeniť ich permeabilitu, membránový potenciál a enzymatickú aktivitu. Ovplyvňujú aj príjem živín a homeostázu, a spôsobujú oxidačné poškodenie pletív /2/. Rastliny vyvinuli rôzne obranné mechanizmy voči toxickým účinkom ťažkých kovov. Tieto mechanizmy spočívajú napríklad v syntéze fytochelátinov a

metalotionenínov, vo zvýšenej aktivite zložiek antioxidačného systému /3/ a v akumulácii PR (z a ngl. P athogenesis R elated) bi elkovín. P R bi elkoviny, na jmä c hitinázy a glukanázy, s a študujú hlavne v súvislosti s obranou rastlín voči patogénom /4/, výsledky štúdií posledných rokov však naznačujú ich možnú úlohu aj v obrane rastlín voči ťažkým kovom /5, 6/.

Cieľom tejto práce bolo študovať vplyv kadmia, niklu a zinku na vybrané fyziologické a biochemické parametre stresu a obrany v koreňoch kukurice.

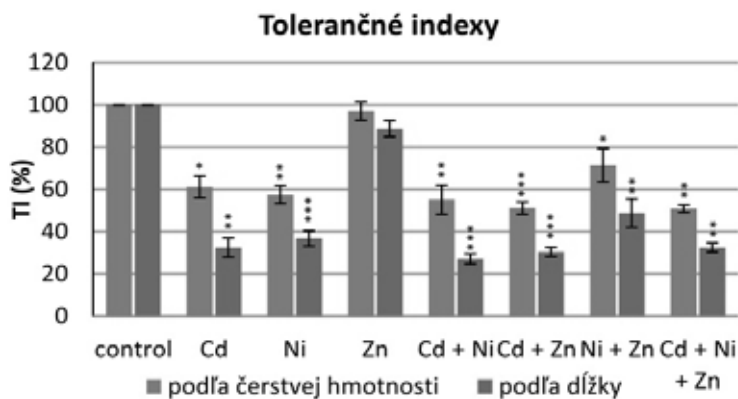
MATERIÁL A METÓDY

Semená kukurice (*Zea mays* L. cv. Premiya) sme po sterilizácii v 5% (w/v) roztoku chlórnanu sodného po dobu 30 min. nakličovali v plastových nádobách, na dvojitej vrstve filtračných papierov navlhčených sterilnou destilovanou vodou, v tme pri 21 °C po dobu 72 hod. Korene klíčiacich semien sme následne preniesli do nádob s obsahom 700 ml roztoku testovaných kovov: dest. voda ako kontrola, 2×10^{-6} M kadmia, 2×10^{-6} M niklu a 10^{-5} M zinku a ich kombinácie. Každý roztok bol prevzdušňovaný a pH upravené na 5.8. Po 96 hod. inkubácie v hydroponii sme oddelili korene od semien a uskutočnili na nich analýzy.

Toleranciu koreňov kukurice k aplikovaným iónom kovov sme vyjadrili tolerančným indexom (TI) na základe dĺžky aj čerstvej hmotnosti koreňov. Mieru peroxidácie lipidov sme stanovili meraním množstva malondialdehydu (MDA) podľa /7/. Obsah prolínu v koreňoch sme kvantifikovali podľa /8/. Proteíny izolované podľa /9/ sme separovali na polyakrylamidových géloch a farbili na chitinázovú resp. glukanáзовú aktivitu podľa /10/. Obrázky gélov sme analyzovali softvérom Scion Image. Analyzovali sme najmenej 50 semien pre každú vzorku v troch nezávislých opakovaní experimentu a výsledky sme podrobili štatistickým analýzám.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Aplikované kovy redukovali biomasu koreňov až do 51 % (Cd-Ni-Zn, $P \leq 0,01$; Cd-Zn, $P \leq 0,001$), pričom najvyššiu toleranciu koreňov sme pozorovali pri zinku (97 %) (Graf 1).



Graf 1: Tolerančné indexy (TI) koreňov kukurice odrody Premiya k aplikovaným iónom ťažkých kovov, stanovené na základe čerstvej hmotnosti a dĺžky koreňov. Údaje zodpovedajú hodnotám aritmetického priemeru \pm SE ($n = 50-60$). Hodnoty sú štatisticky významné pri: *** $P \leq 0,001$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,05$.

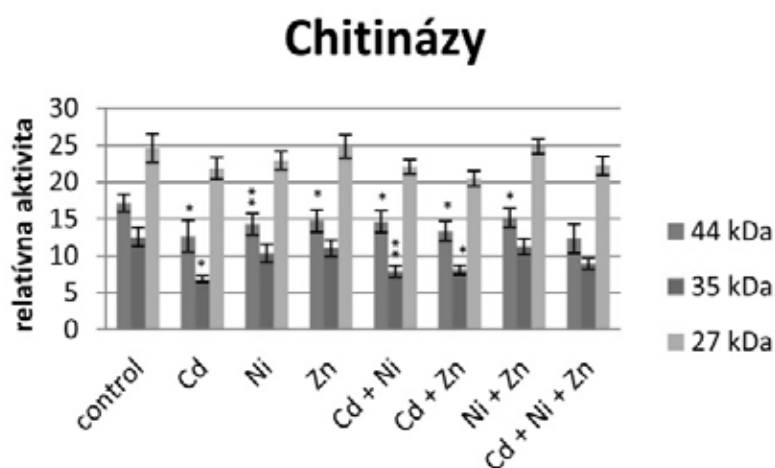
Dĺžka koreňov bola vplyvom aplikovaných stresorov ešte viac redukovaná, a to štatisticky významne na 48 až 27 % pri každej vzorke okrem Zn (89 %) (Graf 1). Štatisticky významné zníženie čerstvej hmotnosti a dĺžky koreňov oproti kontrole v odpovedi na ťažké kovy je často opísaným symptómom ich toxicity a naznačuje vysokú mieru citlivosti kukurice voči aplikovaným dávkam ťažkých kovov. Rozdielnu mieru citlivosti koreňov voči

aplikovaným kovem môžeme vysvetliť kvalitatívno-kvantitatívnymi rozdielmi v toxických mechanizmoch kovov.

Mieru peroxidácie lipidov sme stanovili na základe množstva vznikajúceho malondialdehydu – ako produktu tohto procesu. Jeho zvýšená produkcia sa považuje za jeden z indikátorov oxidačného poškodenia buniek. Naše analýzy nepreukázali výrazné zmeny v miere peroxidácie membránových lipidov, čo svedčí o prítomnosti efektívneho antioxidantného systému v koreňoch kukurice [11].

V koreňoch kukurice sme nezaznamenali významné zmeny v akumulácii malonilínu (mierny pokles iba pri Zn, $P \leq 0.05$). Malonilín plní rôzne funkcie v rastline, pričom bola preukázaná jeho úloha aj v odpovedi na oxidačné poškodenie pletív [12].

Proteíny izolované z koreňov sme separovali na polyakrylamidových géloch obsahujúcich SDS a študovali sme aktivitu obranných enzýmov chitináz a glukánáz. Celkovo sme detekovali tri zoformy chitináz s molekulovou hmotnosťou 44, 35 a 27 kDa, z ktorých každá prejavila zníženie aktivity v odpovedi na testované kovy. Najväčšia izoforma, s molekulovou hmotnosťou 44 kDa reagovala najviac na stresory a prejavila štatisticky významné zmeny v porovnaní s kontrolou ($P \leq 0.05$) (Graf 2).



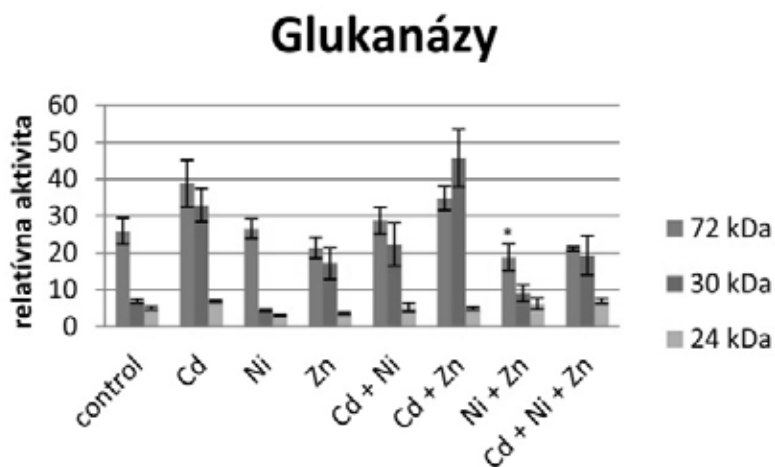
Graf 2: Relatívne aktivity detekovaných izoform chitináz v koreňoch kukurice odrody Premiya vplyvom ťažkých kovov a v porovnaní s kontrolou. Údaje z odpovedajú hodnôt aritmetického priemeru \pm SE ($n = 4-6$). Hodnoty sú štatisticky významné pri: $**P \leq 0,01$; $*P \leq 0,05$.

Podobné reakcie sme pozorovali aj v prípade najmenšej izoformy 27 kDa, a však detekované zmeny neboli štatisticky významné. Najvýraznejšie zmeny v aktivite prejavila izoforma s molekulovou hmotnosťou 35 kDa po vystavení Cd, Cd+Ni a Cd+Zn, kedy jej aktivita poklesla o viac ako 1/3 ($P \leq 0.05$) (Graf 2).

V proteínových extraktoch kukurice sme detekovali celkovo tri izoformy β -1,3-glukanáz, avšak preukázateľné zmeny sme zaznamenali iba v aktivite izoformy s molekulovou hmotnosťou 72 kDa pri vystavení vplyvom Ni-Zn ($P \leq 0.05$) (Graf 3). Na druhej strane, aktivity všetkých troch izoform glukánáz, i keď nie významne, sa líšili v závislosti od typu a kombinácie aplikovaných stresorov. Analýza týchto výsledkov stále pokračuje.

Jednou z odpovedí rastlín na toxicitu ťažkých kovov je aj syntéza špecifických proteínov, medzi ktoré patria aj tzv. PR-proteíny. Enzýmy chitinázy (PR-3) a glukánázy (PR-2) zohrávajú dôležitú úlohu pri rôznych endogénnych procesoch v rastlinách, v výsledky viacerých štúdií však naznačujú ich špecifickú úlohu voči abiotickým typom stresu vrátane ťažkých kovov. Zmenenú aktivitu niektorých izoform týchto enzýmov v rastlinách vystavených účinkom rôznych ťažkých kovov pozorovali viacerí autori [5, 6, 13, 14], pričom

sa zistilo, že ich aktivita závisí od rastlinného druhu, ako aj typu a koncentrácie aplikovaného kovu. Rýchlosť a amplitúda ich aktivácie zrejme vplývajú na obranný potenciál rastlín pri vystavení účinkom ťažkých kovov [6]. Doteraz však nie je objasnené, či tieto izoformy zohrávajú úlohu pri samotnej obrane voči kovu, alebo pri iných procesoch ako napr. apoptóze.



Graf 3: Relatívne aktivity detekovaných izoformií glukanáz v koreňoch kukurice odrody Premiya vplyvom ťažkých kovov a v porovnaní s kontrolou. Údaje z odpovedajú hodnotám aritmetického priemeru \pm SE ($n = 4-6$). Hodnoty sú štatisticky významné pri: ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,05$.

Výsledky našich analýz potvrdili vysokú citlivosť kukurice na ťažké kovy ako kadmium, ni kel a zinok. Vplyv týchto stresorov na korenu kukurice je vzhľadom na aktivitu jednotlivých izoformií chitináz. Analýzy P R-bielkovín ukazujú, že jednotlivé chitinázy všeobecne znížili svoju aktivitu v odpovedi na testované kovy, zatiaľ čo zmeny v aktivite izoformií glukanáz boli podmienené typom kovu (i keď nevýznamne). Vzhľadom na to, že chitinázy a glukanázy sú považované za dôležité prvky obrany rastlín voči patogénom, je veľmi zaujímavé študovať ako je využitá ich funkcia počas iných typov stresu. Podobné štúdie týchto enzýmov majú potenciál pomáhať nielen pochopiť mechanizmy rastlinnej obrany, ale aj identifikovať proteínové markery pre rôzne environmentálne stresory vrátane ťažkých kovov.

LITERATÚRA

- /1/ Peralta, J.R. et al.: Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 66, 2001: 727–734.
- /2/ Sanità di Toppi, L., Gabrielli, R.: Response to cadmium in higher plants. Environmental and Experimental Botany, 41, 1999: 105–130.
- /3/ Sandalio, L.M. et al.: Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. Journal of Experimental Botany, 52, 2001: 2115–2126.
- /4/ van Loon, L.C. et al.: Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. Annual Review of Phytopathology, 44, 2006: 135–162.
- /5/ Békésiová, B. et al.: Heavy-metal stress induced accumulation of chitinase isoforms in plants. Molecular Biology Reports, 35, 2008: 579–588.
- /6/ Mészáros, P. et al.: Cultivar-specific kinetics of chitinase induction in soybean roots during exposure to arsenic. Molecular Biology Reports, 40, 2013: 2127–2138.
- /7/ Karabál, E. et al.: Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. Plant Science, 164, 2003: 925–933.
- /8/ Sanchez, E. et al.: Protein metabolism in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike). Journal of Plant Physiology, 158, 2001: 593–598.
- /9/ Hurkman, W.J., Tanaka, C.K.: Solubilization of plant membrane proteins for analysis by two-dimensional gel electrophoresis. Plant Physiology, 81, 1986: 802–806.

- /10/ Pan, S.Q. et al.: A technique for detection of chitinase, beta-1,3-glucanase, and protein- patterns after a single separation using polyacrylamide-gel electrophoresis or isoelectrofocusing. *Phytopathology*, 81, 1991: 970–974.
- /11/ Demiral, T., Türkan, I.: Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 53, 2005: 247–257.
- /12/ Alia, J.M. et al.: Effect of proline on the production of singlet oxygen. *Amino Acids*, 21, 2001: 195–200.
- /13/ Didierjean, L. et al.: Heavy-metal-responsive genes in maize: identification and comparison of their expression upon various forms of abiotic stress. *Planta*, 199, 1996: 1–8.
- /14/ Piršelová, B. et al.: Biochemical and physiological comparison of heavy metal-triggered defense responses in the monocot maize and dicot soybean roots. *Molecular Biology Reports*, 38, 2011: 3437–3446.

PodĎakovanie

Práca vznikla za finančnej podpory projektov VEGA 1/0509/12 a UGA VII/61/2013.

VÝHODY TESTOVANIA FYTOTOXICKÉHO ÚČINKU KOVOV VO VERTIKÁLNYCH PLASTOVÝCH KONTAJNEROCH PHYTOTOXKIT V POROVNANÍ S PETRIHO MISKAMI

ADVANTAGES OF PHYTOTOXIC METAL TEST ASSESSMENT IN VERTICAL PLASTIC CONTAINERS PHYTOTOXKIT VS. PETRI DISHES

Marianna Molnárová, Agáta Fargašová

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra environmentálnej ekológie,
Mlynská dolina B2, 842 15 Bratislava, Slovenská republika, molnarova@fns.uniba.sk

Summary

Aim of this study was to compare the cultivation of seedlings in Phytotoxkit vertical plastic containers and Petri dishes used in ecotoxicological standardized tests of growth. Model plant was white mustard (*Sinapis alba* L.), which was first tested in the presence of two cultivating media (dechlorinated tap water or Knop's solution). Shorter roots were observed in Knop's solution. These media had no effect on shoot growth. No influence was determined on seed germination, but the length of roots and shoots was greater in seedlings growing in Phytotoxkit containers. Cadmium is known as phytotoxic metal, which was chosen as a model test substance to compare the IC_{50} values for the inhibition of roots growth between the Petri dishes and Phytotoxkit containers, but the differences were not statistically significant.

Key words: *Sinapis alba* L., Ecotoxicological test, Petri dishes vs. vertical plastic Phytotoxkit® container

Súhrn

Cieľom príspevku bolo porovnať kultiváciu semenáčikov vo Phytotoxkit plastových vertikálnych kontajneroch a v Petriho miskách, ktoré sa používajú v ekotoxikologických štandardizovaných rastových testoch. Modelovou rastlinou bola horčica biela (*Sinapis alba* L.), ktorá sa najprv testovala v prítomnosti dvoch kultivačných médií (24 hod odstáta vodovodná voda, Knopov roztok), pričom kratšie korene sa pozorovali pri raste v Knopovom roztoku. Na rast výhonkov nemali médiá významnejší vplyv. Kým typ kultivačných nádob neovplyvňoval klíčivosť semien, dĺžka koreňov a výhonkov bola väčšia pri semenáčikoch rastúcich vo Phytotoxkit kontajneroch. Ako testovacia látka sa pre porovnanie výhod dvoch vybraných typov kultivačných nádob použilo kadmium, pri ktorom sú dobre známe jeho fytotoxické účinky. Sledovaným a porovnávaným parametrom boli IC_{50} hodnoty pre inhibíciu rast koreňa v Petriho miskách a Phytotoxkit kontajneroch. Porovnanie ukázalo, že rozdiely medzi vybranými typmi kultivačných nádob neboli štatisticky preukazné.

Kľúčové slová: *Sinapis alba* L., Ecotoxikologické testy, Petriho misky vs. vertikálne plastové Phytotoxkit® kontajnery

ÚVOD

Pre dlhodobú zvýšenú antropogénnu činnosť v životnom prostredí dochádza k zvyšovaniu obsahu látok, pričom nie sú ešte dostatočne dobre preštudované účinky na biotu. Na testovanie toxicity látok sú dostupné viaceré štandardizované metódy a postupy, ktoré boli zverejnené a kódujú sa ISO (International Standards Organization),

ASTM (American Society for Testing and Materials), OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), tak aj vládami v rámci medzinárodného a národného práva. Mnohé rastlinné ekotoxikologické testy sledujú predovšetkým vplyv látky na inhibíciu rastu koreňa v priebehu pomerne krátkej testovacej doby – rádovo v hodinách. Pri testovaní vyšších rastlín sa v užívaní hlavne plastové a lebo sklenené nádoby (napr. Petriho misky), ktoré sú naplnené pevným alebo kvapalným substrátom /1, 2, 3/. V príspevku porovnávame kultiváciu horčice bielej *S. alba* vo vertikálnych plastových Phytotoxkit kontajneroch s Petriho miskami v prítomnosti dvoch kultivačných médií – 24 hod odsáťatej vodovodnej vode a lebo v Knopovom živnom médiu – ako aj kultiváciu v uvedených nádobách pri troch v vybraných koncentráciách Cd, predstavujúcich 25, 50 a 75 % inhibície rastu koreňa, zistenú v priebehu našich predchádzajúcich pokusov.

MATERIÁL A METÓDY

Na porovnanie kultivácie sa použili semená horčice bielej (*Sinapis alba* L., cv. Severka) získané z firmy Chepo, s.r.o. (Unhošť-Fialka, Česká republika). Ako už známa toxická látka sa použilo kadmium ($\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, p.a.) z firmy Lachema, Česká republika. Semená sa vysiali do dvoch typov nádob: a) $21 \times 15,5$ cm vertikálnych plastových kontajnerov Phytotoxkit (MicroBioTests Inc., Nazareth, Belgicko) s papierovou vatou a filtračným papierom nasiaknutým 24 ml čerstvo pripraveného roztoku kadmia, a b) Petriho misky s priemerom 17 cm, na dne ktorých bol filtračný papier a 90 ml čerstvo pripraveného roztoku /1, 2/. Nastanovenie IC_{50} hodnota sa v ysadilo do každého kontajnera a Petriho misky po 15 semien *S. alba*. Pri každej koncentrácii Cd boli použité tri paralely, teda testovalo sa minimálne 45 semenáčikov. Cd bolo rozpustené v 24 hod odsáťatej vodovodnej vode ($72,6 \text{ mg Ca.l}^{-1}$, $17,7 \text{ mg Mg.l}^{-1}$, $\text{Cl} < 0,02 \text{ mg.l}^{-1}$; pH $7,48 \pm 0,13$) v koncentráciách od 74 do 222 mg Cd.l^{-1} ($657\text{--}1971 \text{ } \mu\text{mol.dm}^{-3}$) s pH v rozsahu 6,35–7,51. Tieto koncentrácie boli v ybrané na základe našich predchádzajúcich pokusov vo Phytotoxkit kontajneroch a vyvolávali 25 až 75 % inhibíciu rastu koreňa. Porovnávali sa klíčenie a inhibícia rastu semenáčikov nielen v odsáťatej vodovodnej vode, ale aj v modifikovanom Knopovom roztoku /4/: $0,8 \text{ g.l}^{-1} \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2$; $0,2 \text{ g.l}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_4$; $0,2 \text{ g.l}^{-1} \text{ KNO}_3$; $0,2 \text{ g.l}^{-1} \text{ MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $0,2 \text{ g.l}^{-1} \text{ KCl}$; $0,01 \text{ g.l}^{-1} \text{ FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; pH 5,4.

Semená v kontajneroch a v Petriho miskách sa nechali klíčiť 72 hod v tme pri teplote 25 ± 1 °C, potom sa zmerali dĺžky koreňov a výhonkov a probitovou analýzou sa vypočítala 50 %-ná inhibícia rastu semenáčikov a ich 95 %-né intervaly spoľahlivosti (CI) /2/. Všetky výsledky boli aj štatisticky v yhodnotené v programe Microsoft Excel 2010 študentovým *t*-testom, kde štatistická významnosť bola nasledovná: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ v porovnaní s kontrolou.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Štandardizované normy majú vo svojich odporúčaniach uvedené limity, ktoré by pre dostatočnú výpovednosť a reprodukovateľnosť testov mali byť dodržané. Jedným z týchto ukazovateľov je aj percento klíčivosti semien, ktoré v prípade noriem OECD /1/ a U.S. EPA /3/ hovoria o minimálnej hodnote 70, resp. 90 %. V našich pokusoch nebola klíčivosť semien ovplyvnená ani typom kultivačného média (24 hod odsáťatej vodovodná voda, Knopov roztok) ani typom kultivačných nádob (Petriho miska, vertikálny Phytotoxkit kontajner) a dokonca aj prítomnosť Cd znížila tento parameter len o 7 % (Tab. 1). Ani mierne kyslé charakter Knopovho roztoku klíčenie neovplyvňoval.

Kým rast koreňov bol v Knopovom roztoku v porovnaní s rastom vo vodovodnej vode preukazne inhibovaný, pri raste výhonkov sa štatisticky významné rozdiely nepozorovali (Tab. 2). Pri vertikálnej kultivácii vo Phytotoxkit kontajneroch dosahovala dĺžka koreňov

vo vodovodnej vode dvojnásobok tých, ktoré rástli v Knopovom roztoku. Pri horizontálnej kultivácii v Petriho miske bol tento rozdiel menší, ale stále štatisticky významný ($p < 0,01$).

Tab.1: Klíčenie (%) semenáčikov *S. alba* vo Phytotoxkit kontajneroch a Petriho miskách. A – kultivácia bez prídavku Cd, B- kultivácia vo vodovodnej vode s prídavkom Cd. (n – počet semien)

A						
kultivačné médium	Phytotoxkit kontajner			Petriho miska		
	klíčenie (%)	(pH)	n	klíčenie (%)	(pH)	n
vodovodná voda Knop	100,0±0,0	7,61	45	97,8±14,9	7,61	45
	100,0±0,0	5,40	45	100,0±0,0	5,40	45
B						
Cd (mg.l ⁻¹)	Phytotoxkit kontajner			Petriho miska		
	klíčenie (%)	(pH)	n	klíčenie (%)	(pH)	n
0	95,6±20,8	7,61	45	95,6±20,8	7,61	45
52	100,0±0,0	7,41	45	93,3±25,2	7,41	45
81	100,0±0,0	7,32	45	100,0±0,0	7,32	45
152	97,8±14,9	7,34	45	95,6±20,84	7,34	45

Tab.2: Dĺžka koreňov a výhonkov *S. alba* po 3 dňoch kultivácie vo vodovodnej vode alebo v Knopovom roztoku. Priemerné hodnoty spolu so štandardnou chybou priemeru (SEM) sú uvedené spolu so štatistickou významnosťou oproti kontrole, kde ** $p < 0,01$ a *** $p < 0,001$.

kultivačné médium	dĺžka (mm)	
	Phytotoxkit kontajner	Petriho miska
koreň vodovodná voda	41,7±4,4	25,7±3,1
Knop	22,0±1,8***	14,1±2,6**
výhonok vodovodná voda	19,0±1,4	11,7±1,3
Knop	18,1±1,4	8,7±1,3

Keďže literatúra sa zameriava predovšetkým na vyhodnocovanie klíčenia alebo percenta inhibície dĺžky rastu koreňa /napr. 6, 7/ a nie na porovnanie kultivácie v rôznych médiách a nádobách, tie sa hodnotia v podmienkach fyto toxického testovania látky prostredníctvom toxicity kadmia. Cd inhibovalo nezávisle od typu kultivačných nádob rast koreňa približne pri rovnakej koncentrácii (Tab. 3). Pokiaľ ide o rast výhonkov, tak vo vertikálnych Phytotoxkit kontajneroch bol ich rast inhibovaný na 50 % pri koncentrácii Cd, ktorá bola približne 1,5-krát vyššia ako v Petriho miske.

Z uvádzaných výsledkov vyplýva, že vertikálna kultivácia vo Phytotoxkit kontajneroch prispieva k lepšiemu rastu koreňov, pravdepodobne aj vďaka lepšej gravitácii, ktorá pôsobí na škrobové zrná na chádzajúce sa v koreňových čiapočkách rastlín. Navyše sú tieto kontajnery vhodnou obmenou pre fyto toxické testy v semihydroponických podmienkach, lebo

získané výsledky sú porovnateľné s výsledkami získanými z kultivácie rastlín na Petriho miskách, ktoré sú odporúčané štandardizovanými testami /1, 2, 3/. K výhodám vertikálnych kontajnerov patrí aj to, že poskytujú pre koreňové systémy rastlín dostatočný priestor a uspokojujú aj ich nároky a požiadavky na prísun vody a živín /5/.

Tab.3: Hodnoty IC_{50} a ich 95 %-né intervaly spoľahlivosti (CI) pre korene a výhonky *S. alba*, ktoré rástli vo Phytotoxkit kontajneroch alebo Petriho miskách 3 dni v tme v prítomnosti Cd (vodovodná voda bola kultivačným médiom aj kontrolou)

koreň		výhonok	
Phytotoxkit kontajner	Petriho miska	Phytotoxkit kontajner	Petriho miska
IC_{50} (mg.l ⁻¹) (95% CI)	IC_{50} (mg.l ⁻¹) (95% CI)	IC_{50} (mg.l ⁻¹) (95% CI)	IC_{50} (mg.l ⁻¹) (95% CI)
127 (111–145)	98 (91–106)	250 (214–292)	150 (139–163)

LITERATÚRA

- /1/ OECD: Guidelines for the testing of chemicals. Terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test, Test 208. OECD, Paris, 2006.
- /2/ STN 83 8303: Skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekototoxicita. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín, 1999.
- /3/ USEPA: Ecological effects test guidelines: terrestrial plant toxicity, Tier I (Vegetative Vigor), 712-C-96-163. OPPTS 850:4150, 1996.
- /4/ Fargašová, A.: Root growth inhibition, photosynthetic pigments production, and metal accumulation in *Sinapis alba* as the parameter for trace metals effect determination. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 61, 1998: 762–769.
- /5/ Baumgarten, A., Spiegel, H.: Phytotoxicity (Plant tolerance). Agency for Health and Food Safety, Vienna, Horizontal – 8, April 2004.
- /6/ Mamindy-Pajany, Y., Hamer, B., Romého, M., Géret, F., Galgani, F., Durmiši, E., Hurel, Ch., Marmier, N.: The toxicity of composted sediments from Mediterranean ports evaluated by several bioassays. Chemosphere, 82, 2011: 362–369.
- /7/ Oleszczuk, P., Hollert, H.: Comparison of sewage sludge toxicity to plants and invertebrates in three different soils. Chemosphere, 83, 2011: 502–509.

Pod'akovanie

Projekt bol realizovaný s podporou vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied VEGA 1/1139/11, VEGA 1/0083/13 a KEGA 036UK-4/2014.

CHARAKTERISTIKY PRIEDUCHOV V POKOŽKE LISTOV MISCANTHUS SINENSIS PESTOVANÉHO V ENVIRONMENTÁLNÝCH PODMIENKACH JUHOZÁPADNÉHO SLOVENSKA

Characteristics of stomata in the leaf's epidermis of Miscanthus sinensis grown in south-western Slovakia in environmental conditions

Žaneta Pauková, Zuzana Jureková

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja,
Katedra ekológie, Mariánska 10, 949 01 Nitra, +421 37 641 5620, zaneta.paukova@uniag.sk

Summary

Genotype *Miscanthus sinensis* (Tatai) grown under field conditions in south-western Slovakia has been studied in vegetation season 2013. Location of stomata in leaves' skin was heterogeneous and twice as high on the abaxial side as on the adaxial side. The ratio of the stomatal density on the adaxial and abaxial side varied from 28% to 30% on the adaxial side of the leaf. Statistically significant difference in the number of stomata was found depending on adaxial and abaxial side.

Key words: Miscanthus, eco-physiological characteristic, stomata, South-Western Slovakia

Súhrn

Bol skúmaný genotyp *Miscanthus sinensis* (Tatai) (ozdobnica čínska) pestovaný v poľných podmienkach juhozápadného Slovenska vo vegetačnom období v roku 2013. Lokalizácia prieduchov v pokožke listov bola heterogénna a dvojnásobne vyššia na abaxiálnej ako na adaxiálnej strane. Z celkového počtu prieduchov sledovaného genotypu bolo priradené k adaxiálnemu povrchu 28–30%. Štatisticky preukazný rozdiel v počte prieduchov sme zistili v závislosti od adaxiálneho a abaxiálneho povrchu pokožky listov.

Kľúčové slová: Miscanthus, ekofyziologické vlastnosti, prieduchy, juhozápadné Slovensko

ÚVOD

Z pereniálnych bylín sa k premenlivým environmentálnym podmienkam dobre prispôbujú rastliny rodu *Miscanthus*. *Miscanthus* je viacročná tráva, ktorá pochádza z prírodných podmienok východnej Ázie. Do Európy bola introdukovaná v minulom storočí ako okrasná rastlina pestovaná v záhradách a parkoch. Patrí k rastlinám s C₄ typom premeny uhlíka, ktoré efektívne využívajú slnečnú radiáciu, premieňajú ju vo fotosyntetických procesoch. Vytvorenú organickú hmotu prevažne distribujú do nadzemných orgánov. V posledných rokoch sa v mnohých štátoch Európy i zámoria pestuje ako druh využívaný na energetické účely. Pre pochopenie rastových a produkčných schopností druhu sme v niektorých našich predchádzajúcich prácach [2, 3, 4] charakterizovali biologické a ekofyziologické vlastnosti hybridov *Miscanthus*, pestovaných v environmentálnych podmienkach južného Slovenska. Zaujímavou z významných špecifických vlastností považujeme stomatárny aparát, jeho stavbu, hustotu a funkciu. Tieto vlastnosti korešponujú s environmentálnymi faktormi pôsobiacimi počas rastu listov, najvýznamnejšie sú dostupnosť vody, hustota ožiarenia, teplota, koncentrácia CO₂ [6, 8].

V tejto štúdii sme zisťovali lokalizáciu a hustotu prieduchov na adaxiálnej a abaxiálnej strane pokožky listov *Miscanthus sinensis* (Tatai) pestovaného na poľnohospodárskej pôde juhozápadného Slovenska.

MATERIÁL A METÓDA

Výskum sme uskutočnili na poľnej pokusnej báze Školského poľnohospodárskeho podniku Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Kolíňanoch. Stanovište sa nachádza 13 km od Nitry (48°21'20" S, 18°12'23" V). Patrí do katastrálneho územia obce Kolíňany. Bonita pôdy podľa BPEJ je určená kódom 0111002. Hlavná pôdna jednotka je fluvizem glejová, podľa zrnitosti patrí k stredne ťažkým pôdam. Z hľadiska expozície je to rovina bez prejavu plošnej erózie (0° až 1°). Pôdy sú hlboké (60 cm a viac) bez skeletu. Zaujímavá oblasť patrí do teplého, veľmi suchého, nížinného klimatického regiónu.

V roku 2010 bol založený poľný pokus výsadbou dvoch rozdielnych genotypov *Miscanthus* [*M. sinensis* (Tatai) a *M. sinensis* × *giganteus* (Greef et Deuter, 1993)]. Každý genotyp bol vysadený v spone 1,0 × 1,0 m na ploche 100 m².

Miscanthus sinensis (Tatai), triploidný hybrid (57 chromozómov). Bol šľachtený alogamiou (cudzoopelením) genotypov *Miscanthus sinensis*. V ýsadbovým materiáлом boli sadenice d opestované *in vitro* v Power-H Kft, Maďarsko. Sadenice boli individuálne vysadené v koreniacich nádobách s pôdnym substrátom /3/.

Hustotu prieduchov na listoch *M. sinensis* sme stanovovali nedeštručnou metódou v troch náhodne vybraných trsoch. Analýzu sme urobili vždy na definovanom steblo, na plne vyvinutom liste (5-ty list) pomocou mikroreliefovej metódy /7/. Táto technika dovoľuje pozorovať jednoduchým spôsobom mikroskopické povrchové štruktúry objektov. Princíp spočíva v tom, že na skúmaný objekt na nesieme tenkú vrstvu vhodnej hmoty, do ktorej sa povrch otláči a po stuhnutí získame autentický odliatok povrchu – mikroreliefová metóda. Hmota použitá k tomuto účelu musí byť priehľadná, tekutá ale dostatočne hustá, nesmie sa pri tuhnutí lámať. Tieto podmienky spĺňa rýchlo tuhnúci 4 až 8 % roztok celoidínu v acetóne. V našej práci sme použili bezfarebný lak na nechty /1/.

Odtlačky povrchu listov sme preniesli na podložné sklíčko a preparáty boli pripravené na ďalšie pozorovanie. Mikroreliefy sme odoberali v strednej časti listu (mimo hlavného nervu) z adaxiálnej (vrchnej) a abaxiálnej (spodnej) strany počas mesiacov jún, júl a august vo vegetačnom období v roku 2013. Preparáty sme hodnotili pomocou optického mikroskopu Axiostar plus, Carl Zeiss, objektívom CP-Achromat 40×/0,65, okulár PI 10×/18, softvérom Canon Utilities Zoom Browser Ex 4.6 a hardware Acer Travel Mate 4600, Canon Power Shot A 95. V každom odberu sa pracovalo 72 vzoriek. Sledovanie preparátov sme realizovali v laboratóriu Katedry ekológie Fakulty európskych štúdií a regionálneho rozvoja Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre v mesiacoch september a október 2013.

Hustota prieduchov bola vyhodnotená na ploche 1 mm² zo vzťahu:

$$F = z / a^2 \text{ štruktúr}$$

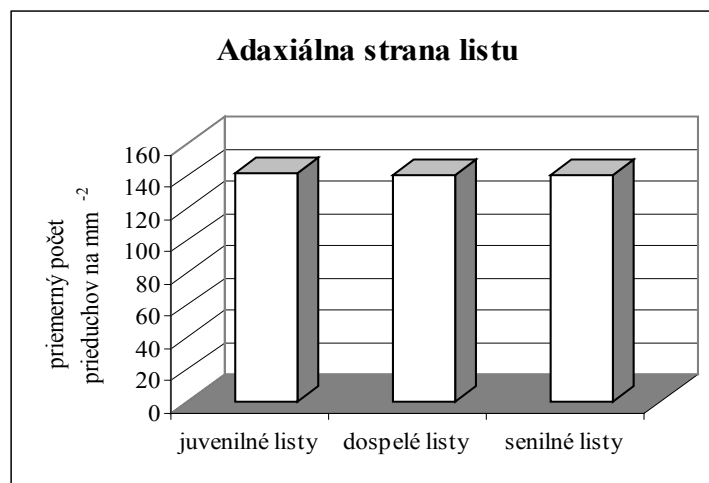
F = hustota prieduchov, z = počet štruktúr, a² = plocha štvorca (1 mm²)

Základné štatistické hodnotenie sme realizovali v prostredí programu Statgraphics Plus. Pri analýze hustoty prieduchov sme na testovanie rozdielov medzi sledovanými faktormi použili viacfaktorovú analýzu rozptylu a štatisticky preukazné rozdiely sa testovali LSD testom.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

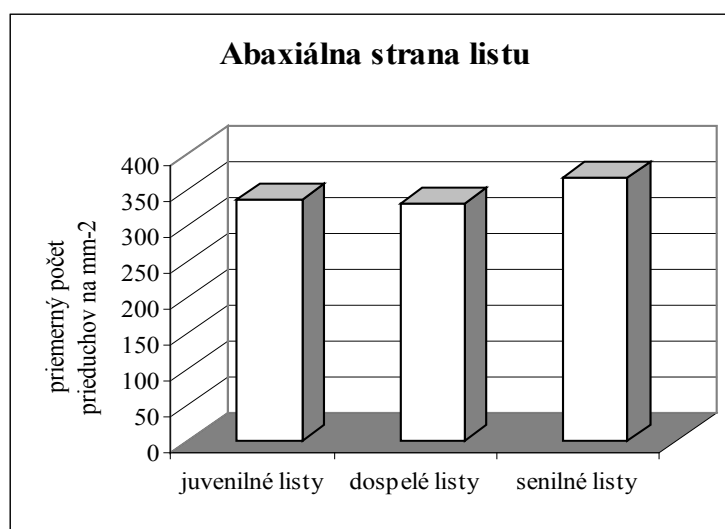
Priemerná hustota prieduchov v závislosti na ontogenéze listu *Miscanthus sinensis* (Tatai)

Na adaxiálnej strane listov sa priemerná hustota prieduchov pohybovala v rozmedzí od 140 do 142 na 1mm². Najvyššiu hustotu prieduchov vrchnej pokožky listu sme zaznamenali na juvenilných a senilných listoch (Graf 1).



Graf 1: Priemerná hustota pr ieduchov ge notypu *Miscanthus s inensis* (Tatai) na adax iálnej strane listov v závislosti na ontogenéze listu.

Na abaxiálnej strane listu sa priemerná hustota prieduchov pohybovala v rozmedzí od 330 do 366 na 1mm², najvyššiu hustotu prieduchov sme zistili na senilných listoch (Graf 2).



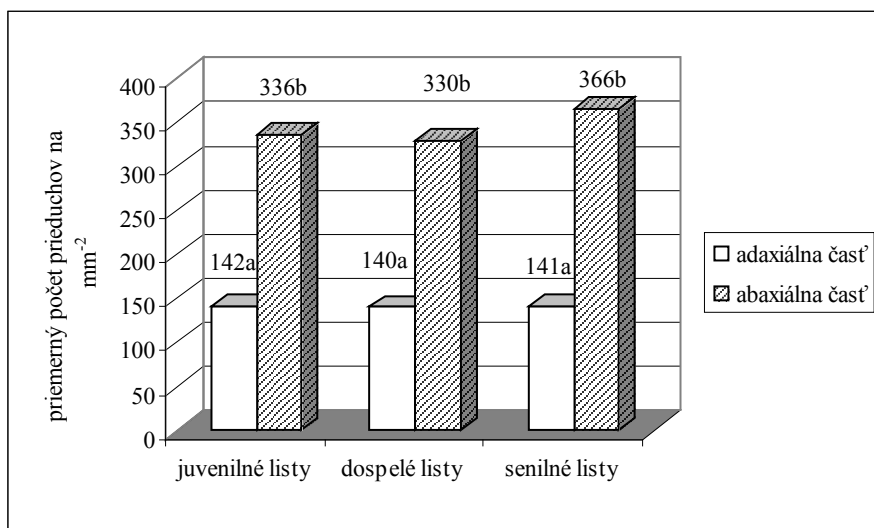
Graf 2: Priemerná hustota pr ieduchov ge notypu *Miscanthus s inensis* (Tatai) na abax iálnej strane listov v závislosti na ontogenéze listu.

Všeobecne môžeme konštatovať, že lokalizácia prieduchov v pokožke listov bola heterogénna a dvojnásobne vyššia na abaxiálnej ako na adaxiálnej strane. Z celkového počtu prieduchov sledovaného genotypu bolo priradené k adaxiálnemu povrchu 27,8–29,8 %.

Štatistická závislosť počtu prieduchov od adaxiálneho a abaxiálneho povrchu pokožky

Na juvenilných listoch *M. s inensis* (Tatai) sme zistili, že počet prieduchov bol štatisticky významne ovplyvnený adaxiálnym a abaxiálnym povrchom pokožky ($LSD_{0,05test} \pm 19,17$).

Rovnako sme zaznamenali štatisticky významný rozdiel ovplyvnený vrchným a spodným povrchom pokožky u dospelých ($LSD_{0,05test} \pm 22,76$) a senilných listoch ($LSD_{0,05test} \pm 12,49$) (Graf 3). Tieto údaje korešpondujú aj s výsledkami v úseku práce [3] na dvoch genotypoch *Miscanthus sinensis* (Tatai) a *M. sinensis* × *giganteus*.



Graf 3: Štatistické hodnotenie preukázaných rozdielov počtu priechodov na mm² listov v závislosti od adaxiálneho a abaxiálneho povrchu pokôžky. Hodnoty s rozdielnymi písmenami (a, b) v stĺpcoch poukazujú na štatisticky preukázaný rozdiel podľa LSD testu ($P < 0,05$).

Použitá metóda odtlačkov povrchu listov a hodnotenie praparátov optickým mikroskopom neovplyvňuje vlastnosti, rozmery, ani otvorenosť priechodových štrbín, preto je možné ju využiť v pokusoch s vodným stresom /5/, alebo pri štúdiu zmien pokožky a počtu priechodov počas ontogenézy /3/. Pracovný postup taktiež dovoľuje snímať odtlačky na intaktných listoch v poľných (prírodných) podmienkach a hodnotiť ich v laboratóriu a jso značným časovým odstupom.

LITERATÚRA

- /1/ Habrová, V.: Mikroskopická technika. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1990: 76–78.
- /2/ Jureková, Z. et al.: Porovnávacie štúdie adaptability a produktivity energetických drevín pestovaných na poľnohospodárskej pôde južného Slovenska a Srbska. In: Integrovaný rozvoj vidieka 2011. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra, 2011: 9–11.
- /3/ Jureková, Z., Kotrla, M., Pauková, Ž., Prčík, M.: The growth and yield of different *Miscanthus* genotypes in the conditions of South-Western Slovakia. *Acta Regionalia et Environmentalica*, 9 (2), 2012: 29–34.
- /4/ Jureková, Z., Kotrla, M., Pauková, Ž.: Life cycle of *Miscanthus × giganteus* (Greuter & Deu) Grown in SouthWestern Slovakia conditions. *Acta Regionalia et Environmentalica*, 10 (2), 2013: 40–43.
- /5/ Manual, J., Reigosa, R.: Handbook of Plant Ecophysiology Techniques. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2001.
- /6/ Martin, E.S., Donkin, M.E., Stevens, R.A.: Stomata. Edward Arnold Publishers Limited, London, UK, 1983.
- /7/ Pazourek, J.: Studium listové epidermis mikroreliefovou metódou. *Preslia*, 35, 1963: 210–216.
- /8/ Woodward, F.I., Kelly, C.K.: The influence of CO₂ concentration on stomatal density. *New Phytologist*, 131, 1995: 311–327.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou VEGA MŠSR pod registračným číslom projektu 1/1220/12.

REAKCIA RASTLÍN REPKY OLEJKY (cv. VIKING) NA STRES INDUKOVANÝ IÓNMI Hg^{2+}

RESPONSE OF RAPESEED PLANTS (cv. VIKING) TO STRESS INDUCED BY Hg^{2+} IONS

Matúš Peško a Marianna Molnárová

Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina CH-2, S K-842 15 Bratislava,
Slovenská republika; e-mail: matus.pesko@gmail.com

Summary

The response of rapeseed plants (*Brassica napus* L., cv. Viking) to stress induced by Hg^{2+} was investigated. The applied Hg^{2+} concentration varied in the range from 12 to $60\mu\text{mol dm}^{-3}$. Presence of Hg^{2+} in external solution resulted in reduced shoot and root dry mass of plants. Due to Hg^{2+} application a significant decrease in the concentration of assimilation pigments (especially chlorophyll *b*) and proteins in plant leaves was observed. The concentration of H_2O_2 , reduced sulfhydryl groups (-SH) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) in leaves rose with increasing Hg^{2+} concentration in hydroponics. Accumulation of mercury in roots was approximately 448 to 661-times higher than that in shoots. Translocation factor values were <1 in whole studied concentration range 12 - $60\mu\text{mol dm}^{-3}$.

Key words: H_2O_2 , chlorophyll, mercury, proteins, *Brassica napus* L., -SH groups, TBARS

Súhrn

Hodnotila sa odpoveď rastlín repky olejky (*Brassica napus* L., cv. Viking) na stres spôsobený iónmi Hg^{2+} . Použitý koncentračný interval Hg^{2+} bol 12 až $60\mu\text{mol dm}^{-3}$. V dôsledku aplikácie zlúčeniny študovaného kovu dochádzalo k redukcii suchej hmotnosti rastlinných orgánov rastlín kultivovaných viking. Aplikácia Hg^{2+} mala za následok významný pokles koncentrácie asimilačných pigmentov, predovšetkým chlorofylu *b* a proteínov v listoch rastlín. Koncentrácia H_2O_2 , redukovaných sulfhydrylových skupín (-SH) proteínov a látok reagujúcich s kyselinou tiobarbiturovou (TBARS) v listoch rastlín rastla so zvyšujúcou sa koncentraciou Hg^{2+} v živnom roztoku. Akumulácia ortuti v koreňoch bola približne 448 až 661-krát vyššia ako vo výhonkoch. Hodnoty translokačného faktora boli <1 v celom študovanom koncentračnom intervale $12\text{--}60\mu\text{mol dm}^{-3}$.

Kľúčové slová: H_2O_2 , chlorofyl, ortuť, proteíny, *Brassica napus* L., -SH skupiny, TBARS

ÚVOD

Kontaminácia životného prostredia ortuťou je pretrvávajúci globálny ekologický problém. Antropogénne znečistenie životného prostredia ortuťou pochádza predovšetkým z ťažby striebra, zlata a z cinabaritových baní. K znečisteniu životného prostredia ortuťou prispievajú aj emisie z ťažkého priemyslu a tepelných elektrární /1/.

Medzi toxické účinky Hg^{2+} môžeme zaradiť: nepriaznivý vplyv na fotosyntézu, príjem živín a homeostázu rastlín, inhibíciu rastu a produkcie biomasu, peroxidáciu lipidov buniek a následnú zvýšenú aktivitu antioxidantných enzýmov /2/.

Odroda repky olejky Viking je vhodná aj do teplejších oblastí. Má vyšší obsah oleja a stabilne nízky obsah glukosinolátov. /3/.

Cieľom práce bolo zhodnotiť reakciu rastlín repky olejky (*B. napus*, cv. Viking) na stres spôsobený iónmi Hg^{2+} , pričom sa sledovali nasledovné parametre: suchá hmotnosť jednotlivých rastlinných orgánov, koncentrácia asimilačných pigmentov, proteínov, látok reagujúcich s kyselinou tiorbiturovou (TBARS), redukovaných -SH skupín pr oteínov a H_2O_2 v listoch rastlín, a koeficient bioakumulácia Hg v rastlinných orgánoch u hydroponicky pestovaných rastlín kultivaru Viking.

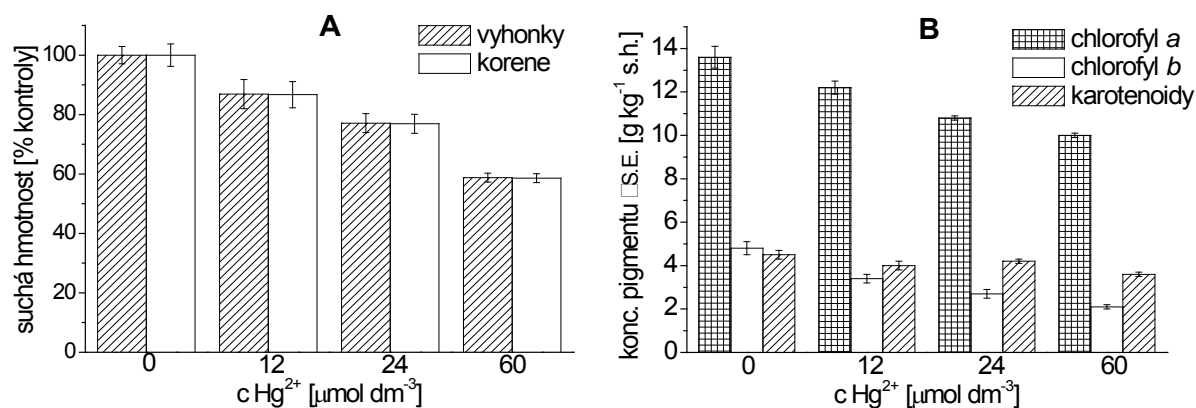
MATERIÁL A METÓDY

Na kultiváciu experimentálnych rastlín sa použili semená repky olejky, cv. Viking, ktoré nám poskytol SCPV – VÚRV v Piešťanoch. Semená repky olejky sa vysiali do pôdy a po troch týždňoch sa premiestnili do Hoaglandovho roztoku s obsahom 12, 24 a 60 $\mu mol dm^{-3}$ $HgCl_2$. Po 7-dennej kultivácii v kontrolovaných podmienkach (16 h svetlo/8 h tma; žiarenie: 80 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ PAR; priemerná teplota vzduchu: 25 °C) sa stanovila dĺžka, ako aj suchá hmotnosť koreňov a výhonkov rastlín. Koncentrácia asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy) v listoch rastlín sa po extrakcii 80 %-ým acetónom stanovila spektrofotometricky (Genesys 6, Thermo Scientific, U.S.A). Na stanovenie koncentrácie proteínov, -SH skupín, H_2O_2 a TBARS sa použil homogénat pripravený z čerstvých listov. Metódy stanovenia uvedených biochemických ukazovateľov sú podrobne popísané v prácach /4, 5/. Obsah Hg v rastlinných orgánoch sa stanovil pomocou galvanostatickej rozpúšťacej chronopotenciometrie (EcaFlow 150 GLP, SK) metódou popísanou v práci /6/.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

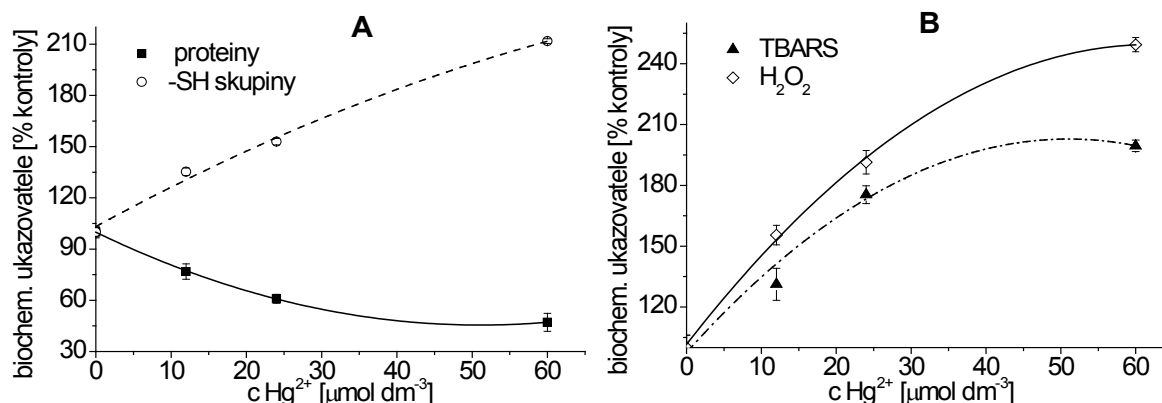
U 3-týždňových rastlín repky olejky, ktoré sa pestovali hydroponicky v prítomnosti Hg^{2+} po dobu 7 dní sa z nárastu chlorózy na listoch objavili po aplikácii 24 $\mu mol dm^{-3}$ zlúčeniny ortuti. V prípade rastlín ošetrovaných najvyššou študovanou koncentráciou Hg^{2+} (60 $\mu mol dm^{-3}$) sa pozorovalo výrazné rozšírenie chlorózy, pričom niektoré listy boli mierne zvädnuté a ich okraje vyschnuté. Korene boli zhnudené i ba u rastlín, ktoré sa pestovali v prítomnosti 60 $\mu mol dm^{-3}$ Hg^{2+} a v porovnaní s kontrolou boli menej rozvinuté. Závislosť suchej hmotnosti výhonkov a koreňov rastlín *B. napus* cv. Viking od aplikovanej koncentrácie zlúčeniny ortuti je znázornená na obr. 1A. So zvyšujúcou sa externou koncentráciou Hg^{2+} suchá hmotnosť koreňov a výhonkov klesala lineárne, pričom možno konštatovať, že oba rastlinné orgány boli iónmi Hg^{2+} nepriaznivo ovplyvnené približne v rovnakej miere. V sledovanom rozsahu koncentrácií Hg^{2+} 12–60 $\mu mol dm^{-3}$ sa pokles suchej hmotnosti jednotlivých orgánov pohyboval v intervale 13,1 % (12 $\mu mol dm^{-3}$) – 41,2 % (60 $\mu mol dm^{-3}$) pre výhonky a 13,3 % (12 $\mu mol dm^{-3}$) – 41,4 % (60 $\mu mol dm^{-3}$) pre korene v porovnaní s kontrolou. Výrazný pokles produkcie biomasy rastlín je spojený s nepriaznivým účinkom iónov Hg^{2+} na metabolizmus a mnohé fyziologické procesy rastlín (príjem živín, rýchlosť fotosyntézy a respirácie, permeabilita membrán buniek, biosyntéza chlorofylu a i.) /7/.

Na obr. 1B je znázornená závislosť koncentrácie chlorofylu *a*, chlorofylu *b*, a koeficientu karotenoidov v listoch rastlín kultivaru Viking od aplikovanej koncentrácie Hg^{2+} . Štatisticky významný pokles koncentrácie chl. *a* a *b* sa pozoroval už pri aplikácii najnižšej študovanej koncentrácie zlúčeniny ortuti (12 $\mu mol dm^{-3}$; Obr. 1B). Výrazný úbytok koncentrácie karotenoidov sa zaznamenal až v prípade aplikácie 60 $\mu mol dm^{-3}$ Hg^{2+} (Obr. 1B). V sledovanom koncentračnom rozsahu 12–60 $\mu mol dm^{-3}$ reagoval na prítomnosť ortuti najcitlivejšie chlorofyl *b*, menej citlivý bol chlorofyl *a* a karotenoidy. U rastlín, pestovaných v prítomnosti 60 $\mu mol dm^{-3}$ Hg^{2+} bol pokles koncentrácie jednotlivých asimilačných pigmentov v listoch 26 % (chl *a*), 56 % (chl *b*), resp. 20 % -ný (karot.) v porovnaní s kontrolou.



Obr. 1: Závislosť suchej hmotnosti (A) rastlinných orgánov a koncentrácie asimilačných pigmentov (B) v listoch rastlín repky olejky, cv. Viking od koncentrácie Hg²⁺ v kultivačnom roztoku; S.E. – štandardná chyba, s.h. – suchá hmotnosť.

Ortuť má nepriaznivý vplyv na procesy svetelnej aj tmavej fázy fotosyntézy. Výmena Mg²⁺ iónov za Hg²⁺ v molekule chlorofylu vedie k inaktivácii svetlozberného systému. Ióny ortuti majú silný inhibičný účinok na fotosyntetický prenos elektrónu, a to hlavne v oblasti fotosystému II. /8/. Potvrdil sa tiež inhibičný účinok Hg²⁺ na pr otochlorofylid r eduktázu, kľúčový enzým pri biosyntéze chlorofylu /1/.



Obr. 2: Závislosť koncentrácie proteínov a redukovaných sulfhydrylových skupín (A), ako aj TBARS a H₂O₂ (B) v listoch rastlín repky olejky, cv. Viking od koncentrácie Hg²⁺ v kultivačnom roztoku.

V koncentračnom rozsahu Hg²⁺ 0–60 μmol d m⁻³ sa pozoroval pokles koncentrácie proteínov (obr. 2A) v listoch rastlín kultivaru Viking so zvyšujúcou sa koncentráciou zlúčeniny ortuti v kultivačnom roztoku z hodnoty 63,9 mg g⁻¹ s.h. (kontrola) na hodnotu 30,1 mg g⁻¹ s.h. (60 μmol d m⁻³ Hg²⁺), čo predstavuje ~52%-ný pokles. Naopak, koncentrácia redukovaných sulfhydrylových skupín (obr. 2A) v uvedenom koncentračnom rozsahu stúpala so zvyšujúcou sa koncentráciou Hg²⁺ iónov v živnom roztoku prakticky lineárne, a pohybovala sa v rozsahu 3,4 μmol g⁻¹ s.h. (kontrola) až 7,2 μmol g⁻¹ s.h. (60 μmol dm⁻³ Hg²⁺). Pokles obsahu pr oteínov v rastlinách oš etrených Hg²⁺ je pravdepodobne výsledkom pôsobenia reaktívnych častíc kyslíku (ROS), ktoré sa tvoria pri oxidačnom strese spôsobenom kovmi a môžu spôsobiť peroxidáciu biomakromolekúl /9/. Nárast obsahu redukovaných –SH skupín pr oteínov je spojený s vysokou afinitou Hg²⁺ iónov k skupinám obsahujúcim síru, pričom sa viažu buď na dve miesta toho istého proteínu, bez deformácie jeho štruktúry, alebo vytvoria väzbu medzi dvomi reťazcami rôznych proteínov /8/.

Koncentrácia látok reagujúcich s kyselinou tiobarbiturovou (TBARS) sa považuje za mieru peroxidácie lipidov. Koncentrácia TBARS (obr. 2B) v listoch rastlín kultivaru Viking stúpala so zvyšujúcou sa koncentráciou Hg^{2+} iónov v kultivačnom roztoku. Po aplikácii $60 \mu\text{mol dm}^{-3} Hg^{2+}$ sa koncentrácia TBARS v listoch rastlín zvýšila v porovnaní s kontrolou približne dvojnásobne, z hodnoty $42,7 \text{ mmol g}^{-1} \text{ s.h.}$ na $82,2 \text{ mmol g}^{-1} \text{ s.h.}$ Nárast koncentrácie H_2O_2 (obr. 2B) v listoch rastlín mal podobný priebeh ako v prípade TBARS, pričom v koncentračnom rozsahu $Hg^{2+} 0-60 \mu\text{mol dm}^{-3}$ sa pohyboval v intervale 8,1 (kontrola) až $20,2 (60 \mu\text{mol dm}^{-3}) \text{ mmol g}^{-1} \text{ s.h.}$ Pri peroxidácii lipidov je produktom rozkladu polyneenasýtených mastných kyselín, ktorú hlavnou zložkou membránových lipidov, malondialdehyd /10/. Radikál $\cdot O_2^-$ a H_2O_2 patria k ROS a bežne v znikajú pri strese spôsobenom kovmi. Zvýšená koncentrácia TBARS po aplikácii Hg^{2+} iónov sa potvrdila aj v experimentoch s rastlinnými druhmi *Lemna minor* L. /11/ a *Medicago sativa* L. /9/.

V študovanom koncentračnom rozsahu $0-60 \mu\text{mol dm}^{-3} Hg^{2+}$ sa obsah ortuti akumulovaný v koreňoch a listoch zvyšoval prakticky lineárne. Akumulácia kovu v koreňoch bola približne 448 až 661-krát vyššia ako vo výhonkoch. Zatiaľ čo pri aplikácii $12 \mu\text{mol dm}^{-3}$ zlúčeniny ortuti bol obsah tohto kovu v koreňoch $2552 \mu\text{g g}^{-1}$ a vo výhonkoch $5,7 \mu\text{g g}^{-1}$, pri aplikácii najvyššej študovanej koncentrácie Hg^{2+} ($60 \mu\text{mol dm}^{-3}$) sa obsahy kovu v rastlinných orgánoch zvýšili na 15265, resp. $20,2 \mu\text{g g}^{-1}$. Veľmi nízku mobilitu Hg^{2+} iónov z koreňa do nadzemnej časti potvrdzujú aj hodnoty translokačného faktora, ktoré boli < 1 a pohybovali sa v rozmedzí $0,0022 (12 \mu\text{mol dm}^{-3}) - 0,0015 (60 \mu\text{mol dm}^{-3})$.

LITERATÚRA

- /1/ Chen, J., Yang, Z.M.: Mercury toxicity, molecular response and tolerance in higher plants. *Biometals*, 25, 2012: 847–857.
- /2/ Kumar, B., Smita, S., Cumbal, L.: Plant mediated detoxification of mercury and lead. *Arabian Journal of Chemistry*, 2013: in press.
- /3/ Repka olejka, ozimná. Viking, 17.03.2014, http://www.uksup.sk/download/odrody/20090728_opisy_repka
- /4/ Peško, M., Kráľová, K., Blaško, J.: Phytotoxic effects of trivalent chromium on rapeseed plants. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(3), 2012: 761–768.
- /5/ Kazemi, N., Kavarani-Nejad, R.A., Fahimi, H., Saadmand, S., Nejad-Sattari, T.: Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in leaves of *Brassica napus* L. under nickel stress. *Scientia Horticulturae*, 126, 2010: 402–407.
- /6/ 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
- /7/ Gupta, D.K., Huang, H.G., Nicoloso, F.T., Schetinger, M.R., Farias, J.G., Li, T.Q., Razafindrabe, B.H.N., Aryal, N., Inouhe, M.: Effect of Hg, As and Pb on biomass production, photosynthetic rate, nutrients uptake and phytochelatin induction in *Pfaffia glomerata*. *Ecotoxicology*, 22, 2013: 1403–1412.
- /8/ Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., Sharma, A.: Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 2006: 199–223
- /9/ Gill, S.S., Tuteja, N.: Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 2010: 909–930.
- /10/ Cargnelutti, D., Tabaldi, L.A., Spanevello, R.M., Jucoski, G.O., Battisti, V., Redin, M., Linares, C.E.B., Dressler, V.L., Flores, E.M.M., Nicoloso, F.T., Morsch, V.M., Schetinger, M.R.C.: Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere*, 65, 2006: 999–1006.
- /11/ Varga, M., Horvatić, J., Čelić, A.: Short term exposure of *Lemna minor* and *Lemna gibba* to mercury, cadmium and chromium. *Central European Journal of Biology*, 8 (11), 2013: 1083–1093

Podakovanie

Túto prácu finančne podporili Vedecká grantová agentúra VEGA MŠVVaŠ SR a SAV, grant č. 1/0098/14 a Sanofi Aventis Pharma Slovakia.

VLIV ESENCIÁLNÍCH KOVŮ NA TOXICITU POLUTANTŮ U ROSTLIN

INFLUENCE OF ESSENTIAL ELEMENTS ON TOXICITY OF POLLUTANTS TO PLANTS

Šárka Petrová, Petr Soudek, Tomáš Vaněk

Laboratoř rostlinných biotechnologií, Ústav experimentální botaniky AV ČR, v.v.i., Rozvojová 263,
165 02 Praha, Česká republika, petrova@ueb.cas.cz

Summary

Increased concentrations of toxic pollutants in agricultural soils can cause death of plants or reduce their production. Contaminants accumulated in food crop may also cause danger to human health. On the other hand, plants grown on contaminated soil can reduce the pollution through a transfer of the contaminant from soil to harvestable plant parts. Phytoextraction can be a solution how to prevent the spread of pollution and simultaneously enhance the environment with the economic aspect. Appropriate plant species should be tolerant to pollutant toxicity and it should have also high biomass production. The aim of this study was to expand knowledge about protection mechanisms of different plant species under abiotic stress. The effects of combination of cadmium with essential metals such as copper, iron, and zinc were studied.

Key words: abiotic stress, essential elements, phytoremediation, toxic pollution

Souhrn

Zvýšené koncentrace toxických polutantů v zemědělských půdách mohou snížit produkci rostlin či dokonce jejich úhyn. Akumulací toxických látek v rostlinných pletivech může být polutant dále šířen do potravního řetězce a ohrozit tak zdraví populace. Na druhé straně, rostliny pěstované na kontaminované půdě mohou snížit znečištění prostřednictvím akumulace kontaminující látky z půdy do nadzemních částí rostlin, které se sklídí. Fytoextrakce může být řešením, jak zabránit šíření znečištění a zároveň zlepšit životní prostředí s ekonomickým aspektem. Vhodné rostlinné druhy by měly být tolerantní k toxicitě znečišťujících látek a měly by mít také vysokou produkci biomasy. Cílem této studie bylo rozšířit znalosti o mechanismech ochrany různých druhů rostlin vůči abiotickému stresu. Byly studovány účinky kombinace kadmia s esenciálními kovy, jako je měď, železo a zinek.

Klíčová slova: abiotický stres, esenciální kovy, fytoremediace, toxické znečištění

ÚVOD

Zvýšené koncentrace esenciálních prvků v zemědělských půdách znamenají větší produkci biomasy. Nicméně půda obsahuje také toxické látky, jako jsou těžké kovy a zvýšený příjem esenciálních prvků je doprovázen i vyšším příjmem těch neesenciálních. Hnojením polí se do půdy dostávají další kontaminanty /1/ a mění se také vlastnosti půdy /2/. Může pak dojít k vyluhování toxických látek /3/ a tím i k vyšší akumulaci v rostlinných pletivech /4/.

Sorghum bi color L. je důležitá plodina díky svému širokému využití jako potravina, krmivo i energetická plodina. Čirok je schopen akumulovat velké množství kovů ve svých výhoncích a má vysokou produkci biomasy ve srovnání s jinými plodinami jako je slunečnice nebo kukuřice /5/.

MATERIÁL A METODA

Test inhibice růstu zkoumá vliv kontaminantů ve vodném roztoku na klíčení a růst kořenů hořčice bílé (*Sinapis alba*) v počátečních stádiích vývoje. Jedná se o základní test pro stanovení ekotoxicity odpadů podle Metodického pokynu odboru odpadů MŽP ČR /6/. Semena byla exponována v řadě koncentrací vodných roztoků iontů Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} a Zn^{2+} a jejich kombinací (Tabulka 1) vždy ve čtyřech paralelních nasazeních. Po 72 hodinách byla změřena délka kořenů. Porovnáním s kontrolními vzorky pak byla zjištěna inhibice růstu kořenů pro jednotlivé koncentrace. Závislost míry inhibice na koncentraci byla zpracována nelineární regresí (GraphPad, San Diego, CA) a v výsledkem byly hodnoty EC_{50} (účinná koncentrace, při které 50 % z testovaných organismů mají významnou reakci na testované sloučeniny).

Tab. 1: Koncentrace kovů (mM) a jejich kombinace použité v testu inhibice růstu

Cd	Cu, Fe, nebo Zn	Cd	Cu, Fe, nebo Zn	Cd	Cu, Fe, nebo Zn	Cd	Cu, Fe, nebo Zn
0,01	0	0	0,01	0,01	0,2	0,2	0,01
0,05	0	0	0,05	0,05	0,2	0,2	0,05
0,1	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
0,5	0	0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,5
1	0	0	1	1	0,2	0,2	1
5	0	0	5	5	0,2	0,2	5

Rostliny *Sorghum bi color* L. (SEED SERVICE s.r.o.) byly pěstovány v kultivační místnosti za kontrolovaných podmínek (23 °C, vlhkost 60 %, denní světlo fáze 16 hodin) s doplňkovým světlem (115 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) v Hoaglandově roztoku. Pro experimenty byly použity čtyři týdny staré rostliny čiroku var. Express, Nutri Honey a Honey Graze MR v pěti opakováních. Koncentrace iontů Cd^{2+} v médiu byla 10, 50, 100, 500, 1000 a 5000 μM . Ostatní přidávané kovy (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+}) měli koncentraci 200 μM .

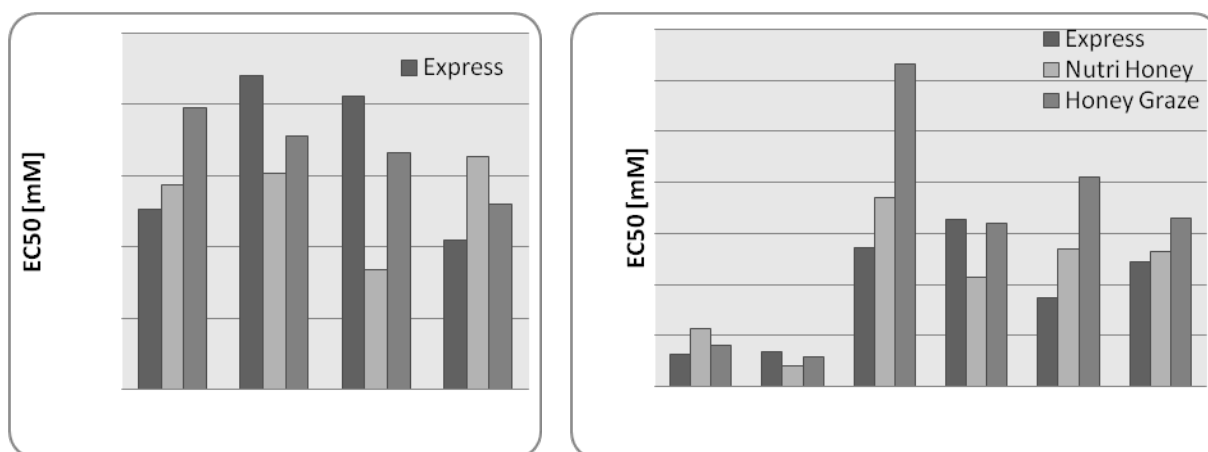
Čistý methanol (10 ml) byl přidán k přibližně 0,25 g čerstvě rozmělněného listového materiálu. Směs byla uchována ve tmě při teplotě 4 °C. Extrahované pigmenty byly stanoveny spektrofotometricky při následujících vlnových délkách: 665,2, 652,4 a 470 nm.

VÝSLEDKY A DISKUSE

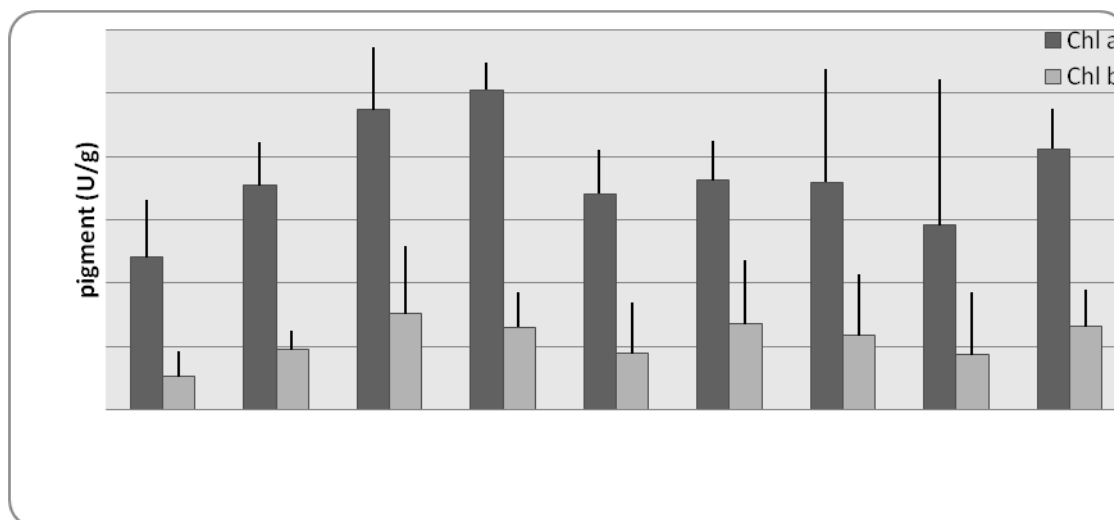
Vypočítané hodnoty EC_{50} pro testované rostliny čiroku jsou uvedeny v grafu 1. Rozsah hodnot EC_{50} byl 1,2–2,0 mM pro kadmium, 1,2–2,2 mM pro měď, 3,5–8,2 mM pro železo a 5,4–12,6 mM pro zinek. Míra toxicity je tedy silně závislá na použitém kultivaru čiroku. Toxicita kadmia také závisí také na obsahu esenciálních kovů v médiu. Největší vliv měly přídavky zinku a mědi, kdy byly hodnoty EC_{50} u čiroku Express pro kadmium vyšší. Na druhou stranu toxicita kadmia příliš neovlivnila toxicitu esenciálních kovů (s výjimkou čiroku Honey Graze BMR u EC_{50} pro zinek).

Dalšími měřeními parametry toxicity iontů kovů byly obsahy pigmentů. Z výsledných hodnot chlorofylů a a b (Graf 2) je patrný vzájemný vliv iontů. Rostliny rostoucí v médiu s kombinací iontů měly srovnatelné hodnoty chlorofylů a a b s kontrolními rostlinami, rozdílly však nebyly statisticky významné.

Je z náo, že e ka demnaté i onty využívají k transportu v rostlinách t ransmembránové přenašeče esenciálních prvků, jako jsou draslík, vápník, hořčík, železo, měď, zinek. /7/ Příjem kadmia ovlivňuje fotosyntézu, což vede k inhibici růstu a k nerovnováze v úrovni živin./8/ Bylo zjištěno, že akumulace kadmia pozitivně koreluje s koncentrací zinku, železa a mědi v rostlinách *A. thaliana*. /9/ U rostlin citlivých na kadmium (*Brassica oleracea* L.) však došlo ke snížení obsahu manganu, železa, hořčíku, síry a fosforu. /10/ Bylo také prokázáno, že dlouhodobá expozice rostlin kadmii snižuje obsah fotosyntetických pigmentů. Koncentrace kadmia 50 a 100 μM způsobily snížení obsahu chlorofylu ab u rostlin *Brassica oleracea* L., což mělo za následek inhibici fotosyntézy. /10/ V našem případě nebyly rozdíly statisticky významné. Je ale zřejmé, že záleží nejen na testovaném rostlinném druhu, ale i na zvoleném kultivaru /11/ a proto je srovnání velmi obtížné. V neposlední řadě je třeba říci, že vzájemné porovnávání dat toxicit je velice obtížné i z důvodu použití rozdílných metodik.



Graf 1: Hodnoty EC_{50} pro Cd, Cu, Fe, Zn a jejich kombinace pro rostliny čiroku var, Express, Nutri Honey a Honey Graze BMR,



Graf 2: Hodnoty chlorofylů a a b pro Cd, Cu, Fe, Zn a jejich kombinace pro rostliny čiroku var, Express, Obsah pigmentů je vztažen na čerstvou váhu rostlinného materiálu, Výsledky jsou uvedeny jako aritmetický průměr se standardními odchylkami (úsečky představují $\pm SD$, $n = 5$), významnost rozdílů byla stanovena za použití Studentova t -testu pro $\alpha \geq 0,05$,

LITERATURA

- /1/ Kidd, P.S., Domínguez-Rodríguez, M.J., Díez, J., Monterroso, C.: Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, 66 (8), 2007: 1458–1467.
- /2/ Nziguheba G., Smolders E.: Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Science of The Total Environment*, 390 (1), 2008: 53–57.
- /3/ McBride, M.B.: Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research*, 8, 2003: 5–19.
- /4/ Zaccone, C., Di Caterina, R., Rotundo, T., Quinto, M.: Soil – farming system – food – health: Effect of conventional and organic fertilizers on heavy metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) content in semolina samples, *Soil and Tillage Research*, 107 (2), 2010: 97–105.
- /5/ Z huang, P ., S hu, W ., L i, Z ., L iao, B ., L i, J ., S hao, J .: Removal of metals by *Sorghum* plants from contaminated land. *Journal of Environmental Science*, 21, 2009: 1432–1437.
- /6/ Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů. Příloha č. 1 Test na semenech hořčice bílé (*Sinapis alba*), 2003.
- /7/ Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M.I.R., Syeed, S., Khan, N.A.: Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American Journal of Plant Sciences*, 3 (10), 2012: 1476–1489.
- /8/ Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A., Forestier, C.: Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *Plant Journal*, 32 (4), 2002: 539–548.
- /9/ Basic, N., Keller, C., Fontanillas, P., Vittoz, P., Bernard, G., Galand, N.: Cadmium hyperaccumulation and reproductive traits in natural *Thlaspi caerulescens* populations. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 8 (1), 2006: 64–72.
- /10/ Sun, J.Y., Shen, Z.G.: Effects of Cd stress on photosynthetic characteristics and nutrient uptake of cabbages with different Cd-tolerance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18 (11), 2007: 2605–2610.
- /11/ Liu, J., Li, K., Xu, J., Liang, J., Lu, X., Yang J., Qngsen Zhu Q.: Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. *Field Crops Research*, 83 (3), 2003: 271–281.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného projektu LD14107 (COST TU1201).

VLIV TĚŽKÝCH KOVŮ NA RŮST A METABOLISMUS HALOFYTNÍCH ROSTLIN

THE EFFECT OF HEAVY METALS ON GROWTH AND METABOLISM OF HALOPHYTES

Radka Podlipná^a, Kateřina Motřková^{a,b}, Hana Konrádová^c, Tomáš Vaněk^a

^aLaboratoř rostlinných biotechnologií, Ústav experimentální botaniky AV ČR, v.v.i., Rozvojová 263, 165 02 Praha 6, Česká republika, podlipna@ueb.cas.cz

^bVysoká škola chemicko-technologická, Ústav chemie ochrany prostředí, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika

^cPřírodovědecká fakulta UK, Katedra experimentální biologie rostlin, Viničná 5, 128 44, Praha 2, Česká republika

Summary

The halophyte plants, which tolerate high NaCl concentration during growth and reproduction, have developed different strategies to survive and complete their life cycles. Generally, their salinity tolerance relies on controlling of Na⁺ and Cl⁻ uptake, their compartmentalization into vacuoles, and on protection of the sensitive organelles such as nucleus or chloroplasts by production of stress proteins. Another important feature of salinity tolerance is production of various osmolytes such as proline, glycine, betaine, sugars, etc. In our experiments we studied the accumulation of proline and sorbitol by halophyte species *Juncus gerardii* and *Plantago maritima* resp. induced by Cd²⁺ and NaCl application.

Key words: halophytes, cadmium, proline, sorbitol

Souhrn

Halofyty jsou rostliny využívající ke svému růstu vodu i s více než 0,5% obsahem soli. Adaptace rostlin k zasolení je dvojího druhu – jednak dokonale řízený příjem solí pomocí vysoké selektivity na úrovni plazmatické membrány bránící pronikání nadbytečných iontů do buněk kořenů, a nebo jsou soli ve zvýšené míře ukládány do vakuoly, případně apoplastu, popřípadě část solí bývá i vylučována na povrch listů. Vysoký osmotický tlak vakuolární šťávy pak musí být vyrovnáván zvýšenou koncentrací kompatibilních osmoticky aktivních látek (kvartérní a moniové soli, aminoskyseliny, cukry) v cytosolu. V naší studii jsme se zaměřili na změny v akumulaci prolinu u regenerantů sítiny sivé (*Juncus inflexus*) a sítiny Gerardovy (*J. gerardii*) a sorbitolu u semenáčků halofytního druhu jitrocel přímořský (*Plantago maritima*) při stresu způsobeného přítomností kadmia v kultivačním médiu.

Klíčová slova: halofyty, kadmium, prolin, sorbitol

ÚVOD

Rostoucí lidská populace potřebuje ke svému nasycení stále intenzivnější agronomiku, vzhledem k tomu, že skoro polovina pevninského povrchu je pouštního nebo polopouštního charakteru, a voda v užitelná k zavlažování především slaná, rostliny aklimatizované na podmínky vysokého zasolení budou v budoucnu nezastupitelným zdrojem nejen potravy ale i krmiv, biopaliv, textilních vláken atd.

Halofyty jsou rostliny využívající ke svému růstu vodu i s více než 0,5% obsahem soli. Adaptace rostlin k zasolení je dvojího druhu – jednak dokonale řízený příjem solí pomocí

vysoké selektivity na úrovni plazmatické membrány bránící pronikání nadbytečných iontů do buněk kořenů a nebo jsou sole ve zvýšené míře ukládány do vakuoly, případně apoplastu, popřípadě část solí bývá i vylučována na povrch listů. Vysoký osmotický tlak vakuolární šťávy pak musí být vyrovnáván zvýšenou koncentrací kompatibilních osmoticky aktivních látek (kvartérní amoniové soli, aminokyseliny, cukry) v cytosolu. Hodnoty osmotického tlaku jsou u halofytů trvale velmi vysoké (více než 10 MPa). Přestože tyto mechanismy zajišťující halofytní rostlinám vysokou toleranci k zasolení jsou již řadu let známé, velmi málo informací máme o regulačních mechanismech exprese příslušných transportních proteinů. Slané mokřady zejména v přímořských oblastech jsou často kontaminovány z okolní průmyslových i obytných zón, z lodní dopravy a pod. Dominantní roli halofytů v akumulaci těžkých kovů v kontaminovaných mokřadech popsali již Otte et al., v roce 1991 a Cacador et al. v roce 2001 /1,2/. Těžké kovy jsou nerozložitelné, a proto jsou rostlinou akumulovány, vysoká koncentrace takto přijatých těžkých kovů způsobuje narušení homeostáze a posléze vede k zastavení růstu či k odumření organismu. Různé rostlinné druhy jsou velmi rozdílně tolerantní k zvýšené koncentraci jednotlivých kovů či jiných xenobiotik. Halofyty se zvýšenou tolerancí k NaCl mohou sloužit jako modelový systém pro studium fyziologických procesů vedoucích k tolerance nejen k zasolení, ale i k vysokým koncentracím těžkých kovů. Nedjimi a Daoud (2009) popisují ve své práci zvýšený příjem kadmia u lebedy (*Atriplex halimus*) a jeho akumulaci především v kořenech rostliny /3/. U rostlin byla též zjištěna zvýšená akumulace prolinu. Castro et al. (2009) studovala akumulaci rtuti u čtyř halofytních druhů (*Triglochin maritima*, *Juncus maritimus*, *Sarcocornia perennis*, *Halimolobos portulacoides*). U zástupců jednoděložných rostlin pozorovala vyšší akumulaci zejména v kořenech, u dvouděložných rostlin docházelo i k translokaci rtuti do nadzemních částí /4/.

Z anorganických kontaminantů životního prostředí jsme pro naše pokusy vybrali kadmium (Cd). Kadmium se do ovzduší dostává při jeho těžbě a zpracování, významným zdrojem je také spalování fosilních paliv komunálního a nemocničního odpadu. Zdrojem emisí kadmia do vod jsou odpadní vody z galvanického pokovování a výroby baterií, atmosférická depozice a splach z půd. Do půdy se dostává nejvíce z atmosférické depozice z městských průmyslových aerosolů, hnojením fosfátovými hnojivy kontaminovanými kadmiiem a z čistírenských kalů.

Kadmium je vysoce toxické, má teratogenní účinky a byla prokázána jeho karcinogenita při požití. Způsobuje inhibici různých enzymů tím, že se váže na sulfanylové skupiny, nebo kompeticí s biogenními prvky jako je železo či zinek. Zasahuje do metabolismu sacharidů. Z hlediska životního prostředí je závažná jeho vysoká bioakumulace a zkoncentrování v potravním řetězci /5/.

Halofyty mohou růst dlouhou dobu na zasolených půdách díky minimalizaci příjmu solí z prostředí a zamezení jejich akumulace v cytoplazmě. Bylo zjištěno, že ionty Na^+ a Cl^- se ukládají ve vakuole, a tak je zabráněno jejich hromadění v cytoplazmě v toxických koncentracích. Pro vyrovnání osmotického tlaku ve vakuole se v cytoplazmě mohou akumulovat ionty K^+ a organické soluty jako prolin, betain, glycin, sacharidy aj. /6/. Obsah prolinu, který se zvyšuje rychleji než obsah jiných aminokyselin ve stresované rostlině, může být použit jako parametr pro měření fyziologického stresu nebo adaptace na něj. Kadmium je známo nejen jako abiotický i biotický indikátor – elicitor fytoalexinové reakce, ale také jako prvek, který ovlivňuje metabolismus prolinu /7,8/. Gouia et al. uvádí, že pod vlivem stresu vyvolaného přítomností kadmia se v rostlinách kumulovaly glutamát a následně prolin. Významnou roli osmoprotektantu u Rosaceae a Plantaginaceae hraje sorbitol. U halofytních druhů rodu *Plantago* byla popsána zvýšená akumulace sorbitolu při zasolení /9/.

V naší studii jsme se zaměřili na změny v akumulaci prolinu u regenerantů sítiny sivé (*Juncus inflexus*) a sítiny Gerardovy (*J. gerardii*) a sorbitolu u semenáčků halofytního druhu

jitrocel přímořský (*Plantago m aritima*) při stresu způsobeného přítomností kadmia v kultivačním médiu.

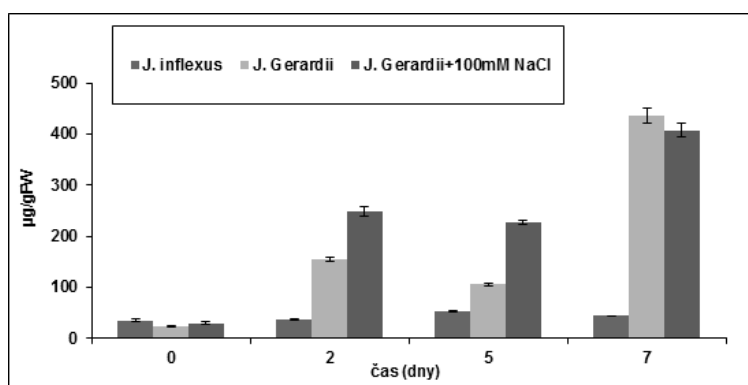
MATERIÁL A METODY

Pokusné rostliny byly kultivovány *in vitro* na médiu pro mokřadní rostliny, v některých případech bylo živné médium obohaceno o chlorid sodný a roztok dusičnanu kademnatého (výsledná koncentrace kadmia byla 100 μM). Vzorke rostlin na měření obsahu kadmia a množství prolinu jako ukazatele stresu u rostliny byly odebírány v intervalu 2, 5 a 7 dní. Vzorke rostlin byly zmineralizovány, obsah kadmia stanoven pomocí AAS.

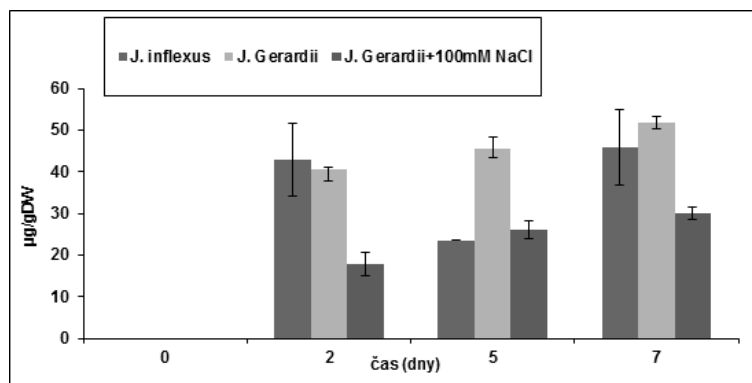
Semenáčky jitrocele byly kultivovány *in vitro* v kultivačních Magenta boxech na MS médiu bez přídavku růstových regulátorů. Pokus probíhal 21 dní, kdy polovina pokusných rostlin byla kultivována na médiu s přídavkem kadmia (50 μM) aplikovaného do média ve formě dusičnanu kademnatého. Rostliny byly sklizeny po 3, 10, 17 a 21 dnech. Obsah rozpustných nestrukturních sacharidů byl stanoven pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) s refraktometrickou detekcí, identifikace složek spektra a jejich kvantifikace pomocí dostupných standardů.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Akumulace kadmia se u halofytního a glykofytního druhu statisticky významně nelišila, výrazně nižší byla pouze v případě pěstování *J. Gerardii* na médiu obohaceném NaCl (Graf 1). Naopak u glykofytního druhu došlo k indukci produkce prolinu na základě stresu vyvolaného přítomností kadmia v médiu v obou variantách pěstování (Graf 2).

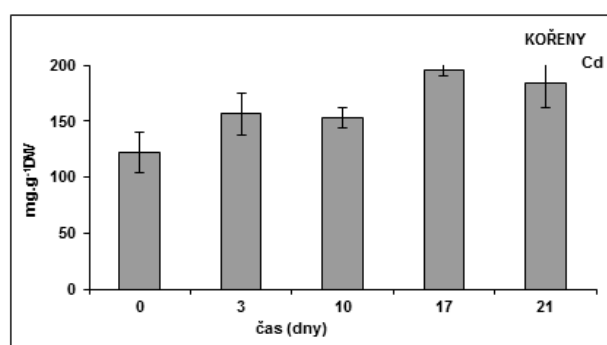
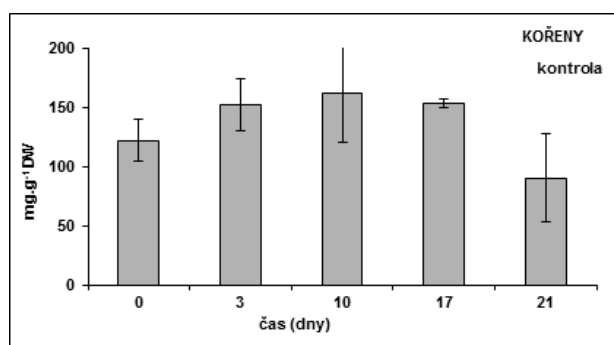


Graf 1.: Porovnání akumulace kadmia rostlinami glykofytním druhem *J. inflexus* a halofytním druhem *J. gerardi* kultivovaných *in vitro* na R H médiu a R H m édiu obohaceném chloridem sodným v konc. 100 mM.

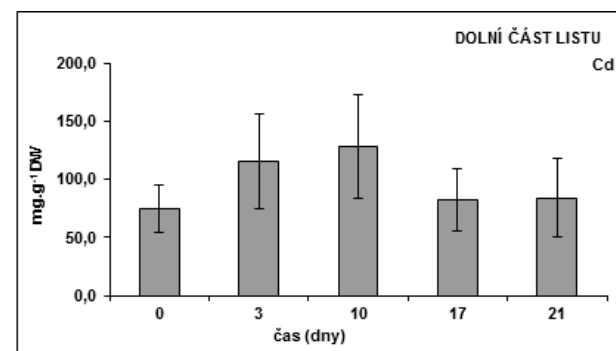
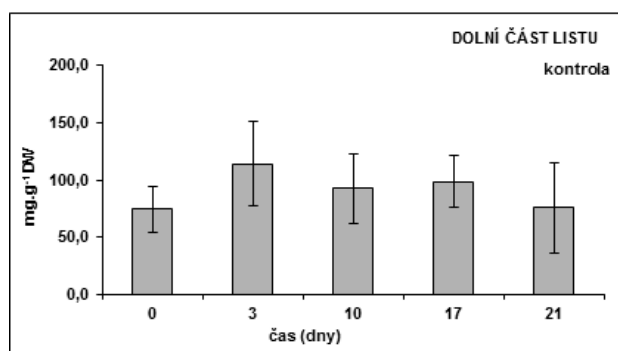


Graf 2

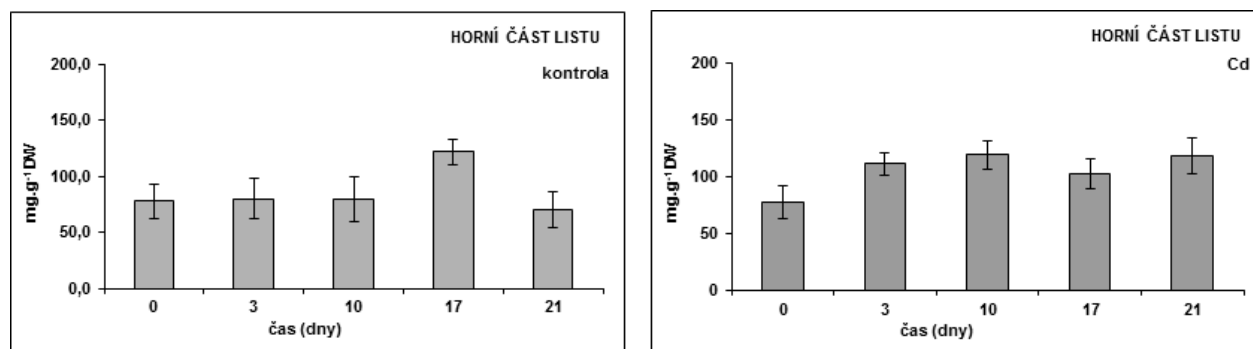
Celkový obsah sacharidů v semenáčcích jitrocele (u kořenů 400–500 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ DW, u listů 300–400 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ DW) se příliš neměnil ani v průběhu pokusu ani ve srovnání pokusných skupin. Sorbitol tvořil přibližně čtvrtinu celkového obsahu sacharidů. U kontrolních rostlin obsah sorbitolu významně klesl po 21 dnech kultivace, zatímco u stresovaných rostlin k tak výraznému poklesu nedošlo. Zvýšená akumulace sorbitolu rostlinami stresovanými kadmii byla pozorována u kořenů v pozdější fázi pokusu (po 17 a 21 dnech kultivace)(Graf 3), zatímco u listů byla více patrná po 3 a 10 dnech kultivace (Graf 4 a 5). Maximální množství akumulovaného kadmia v rostlinách (80,139 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ DW) bylo dosaženo po 17 dnech kultivace.



Graf 3: Obsah sorbitolu v kořenech rostlin *P. maritima* pěstovaných na médiu s přidavkem kadmia (počáteční koncentrace 50 μM) v porovnání s kontrolou.



Graf 4: Obsah sorbitolu v dolní části listů u rostlin *P. maritima* pěstovaných na médiu s přidavkem kadmia (počáteční koncentrace 50 μM) v porovnání s kontrolou.



Graf 5 : Obsah s orbitolu v horní části listů u rostlin *P. maritima* pěstovaných na médiu s přidavkem kadmia (počáteční koncentrace 50 μM) v porovnání s kontrolou.

Zvolená koncentrace kadmia 100 μM resp. 50 μM neměla negativní vliv na růst rostlin, podle naměřených fyziologických parametrů způsobila u obou pokusných systémů pouze mírný stres. Schopnost akumulace těžkých kovů (konkrétně kadmia) byla potvrzena u obou zástupců rodu *Juncus*. Přítomnost NaCl v médiu u kul tur *J. gerardii* potlačovala akumulaci Cd. Z výsledků vyplývá, že halofytní druh *J. gerardii* má zvýšenou schopnost tolerovat vyšší koncentraci chloridu sodného, ale i kademnatých iontů díky zvýšené produkci prolinu. Akumulace kadmia byla prokázána i u halofytního druhu *Plantago maritima*.

LITERATURA

- /1/ Otte, M.L., Bestebroer, S.J., Van der Linden, J.M., Rozema, J., Broekman, R.A.: A survey of zinc, copper and cadmium concentrations in salt-marsh plants along the dutch coast. *Environmental Pollution*, 72, 1999: 175–189.
- /2/ Cacador, I., Vale, C., Catarino, F.: Seasonal variation of Zn, Pb, Cu and Cd concentrations in the root-sediment system of *Spartina maritima* and *Halimione portulacoides* from Tagus estuary salt marshes. *Marine Environmental Research*, 49, 2000: 279–290.
- /3/ Nedjimi, B. Daoud, Y.: Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp *schweinfurthii* and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake. *Flora*, 204, 2009: 316–324.
- /4/ Castro, R., Pereira, S., Lima, A., Corticeiro, S., Valega, M., Pereira, E., Duarte, A., Figueira E.: Accumulation, distribution and cellular partitioning of mercury in several halophytes of a contaminated salt marsh. *Chemosphere*, 76, 2009: 1348–1355.
- /5/ Horák, J., Linhart, I., Klusoň, P., Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2004. 87–89. ISBN 80-7080-548-X.
- /6/ Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.-K., Bohner, H.J.: Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 2000: 463–499.
- /7/ Boussama, N., Ouariti, O., Suzuki A., Ghorbal, M.H.: Cd-stress on nitrogen assimilation. *Journal of Plant Physiology*, 155, 1999: 310–317.
- /8/ Gouda, H., Sužuji, A., Brulfert, J., Ghorbal, M.H.: Effects of cadmium on the co-ordination of nitrogen and carbon metabolism in bean seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 160, 2003: 367–376.
- /9/ Flowers, T.J., Galal, H., Bromham, L.: Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37, 2010: 604–612.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory grantu MŠMT č.LD 13026.

KVANTITATIVNÍ EXPRESE CHLADEM REGULOVANÝCH GENŮ – DIAGNOSTICKÝ ZNAK PRO STANOVENÍ MRAZUVZDORNOSTI PŠENICE

QUANTITATIVE EXPRESSION OF COLD-REGULATED GENES – DIAGNOSTIC MARKER FOR DETERMINATION OF FROST TOLERANCE IN WHEAT

Ilja Tom Prášil¹, Ludmila Holková², Klára Kosová¹, Pavel Vítámvás¹, Milan Oldřich Urban¹,
Jana Musilová¹, Pavlína Smutná²

¹ Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Oddělení genetiky a šlechtění rostlin, Drnovská 507, CZ-161 06 Praha 6, Česká republika, Prasil@vurv.cz

² Mendelova univerzita v Brně, AF, Ústav genetiky a šlechtění, Zemědělská 1, CZ-6013 00 B mo, Česká republika

Summary

A high correlation between the accumulation of WCS120 protein and acquired frost tolerance was found for a group of wheat varieties grown in regulated conditions under a wide range of temperatures (from 5 to 20 °C). In plants collected from the field, the higher correlation was found between their frost tolerance and sum of the expression of several *COR* genes rather than the level of expression of individual genes.

Key words: frost tolerance, COR-genes, dehydrins, wheat

Souhrn

V regulovaném prostředí klimaboxů byla zjištěna vysoká korelace mezi akumulací proteinu WCS120 a dosaženou mrazuvzdorností rostlin u souboru odrůd pšenice pěstovaných v širokém rozmezí teplot (5 až 20 °C). U rostlin odebraných z pole byla zjištěna větší korelace mezi mrazuvzdorností odrůd pšenice a sumou exprese několika *COR*-genů než jen pomocí exprese jednotlivých genů.

Klíčová slova: mrazuvzdornost, COR-geny, dehydriny, pšenice

ÚVOD

Změny klimatu s sebou přinášejí řadu dopadů na porosty zemědělských plodin. Jedním z nich je vliv na přezimování ozimých obilnin. Úspěšné přežití rostlin v podmínkách ČR závisí významně na jejich schopnosti odolávat mrazům. Mrazuvzdornost obilnin má inducibilní charakter a je geneticky determinována. Při nevhodných podmínkách (např. vysoké teploty, vysoká vlhkost půdy, nedostatek sněhové pokrývky) dochází k slabé indukci mrazuvzdornosti rostlin u přezimujících porostů a pak stačí jen krátké období se střední či vyšší intenzitou mrazu a dochází k silnému poškození porostů obilnin (např. zima 2002/2003, 2011/2012).

Stanovení aktuální mrazuvzdornosti rostlin vychází ze dvou přístupů /4/: 1) přímé určení odolnosti rostlin pomocí mrazového testu, např. v laboratorních mrazničkách, a 2) nepřímé stanovení na základě korelace znaků (morfologické, fyziologické, biochemické, atd.) s odolností (potom je nazýváme „diagnostické znaky“). Chladem regulované geny (*COR*-cold regulated) patří mezi nepřímé ukazatele mrazuvzdornosti. Jedná se o stresové geny, specificky indukované při stresech spojených nejen s chladem, ale často i s dalšími a biotickými a

biotickými s tresy (sucho, hor ko, na padení pa togeny, a td.) / 2/. M ají j ak oc hrannou, t ak obrannou funkci.

Některé z *COR*-genů byly vytipovány jako vhodné ukazatele mrazuvzdornosti pšenice a ječmenů /2/. Na úrovni proteinů byla u pšenice zjištěna akumulace *COR*-dehydrinů rodiny *WSC120* (6 dehydrinů lišících se molekulovou hmotností) /5, 6/. Na úrovni transkriptů byla u pšenice zjištěna indukce celé řady *COR*-genů v odezvě na chlad např. *WCS120*, *WDHN13*, *WRAB17*/1/. Jelikož ní zká t eplota (chlad) je z ákladní podm ínkou i ndukce m razuvzdornosti obilnin, je současně probíhající zvýšená exprese *COR*-genů dávána do souvislosti s úrovní mrazuvzdornosti /2/. V předložené práci shrnujeme naše výsledky ze sledování akumulace dehydrinů a vybraných *COR*-genů u souboru odrůd pšenice vystavených chladu v regulovaném prostředí a první experimenty zaměřené na rostliny odebírané z pole.

MATERIÁL A METODY

Soubor odrůd pšenice (Cimrmanova, Bohemia, Sailor, KWS Ozon, Seladon, Matylda, Meritto, Brilliant, Jindra, Elan, Premio, Sokal, Beduin, Carroll) byl pěstován podle standardních metodik na polních parcelách M ENDELU – Žabčice a VÚRV – Ruzyně. V průběhu zimy byly odebrány vzorky jednotlivých odrůd pro stanovení exprese *COR*-genů.

V regulovaném prostředí klimaboxů byl vybrán soubor různě odolných odrůd pšenice (Amaretto, Bill, Ilias, Karolinum, Mironovská 808, Mladka, Nela, Sandra, Šárka, Trend, Zdar) pěstován za různých teplot (5, 10, 15, 20 °C) vždy po stejný počet tzv. termálních dnů (součin doby kultivace a dané kultivační teploty; /3/). Poté byly odebrány vzorky nejmladšího, plně vyvinutého listu pro stanovení relativní akumulace dehydrinových proteinů.

Relativní akumulace dehydrinů *WSC120* byla stanovena v extraktech proteinové frakce rozpustné po va ru metodou 1D SDS-PAGE a imunoblotu pomocí specifické primární protilátky podle /3,5/. Transkripční aktivitagenů *WCS120*, *WDHN13*, *WRAB17* byla vypočtena jako relativní normalizovaná exprese pomocí RT-PCR /1/.

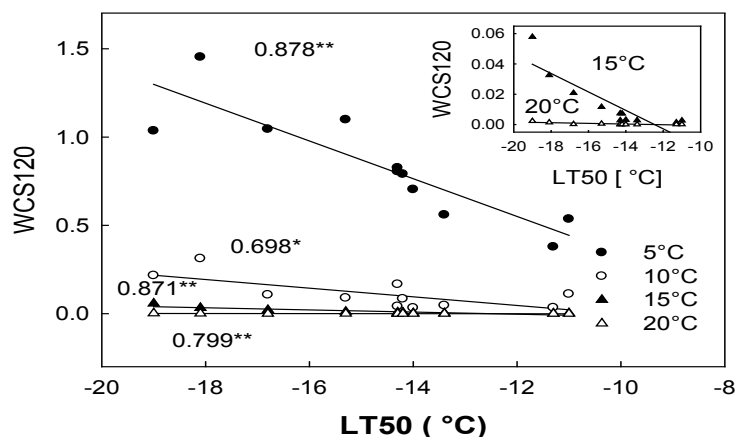
Výsledná exprese v ybraných *COR*-genů (*WCS120*, *WDHN13*, *WRAB17* a *WSC120* proteiny) byla porovnána s paralelně prováděným mrazovým testem (VÚRV) /4/ nebo s hodnocením zimovzdornosti (přežití) na mrazivé zimě 2011/2012.

VÝSLEDKY A DISKUSE

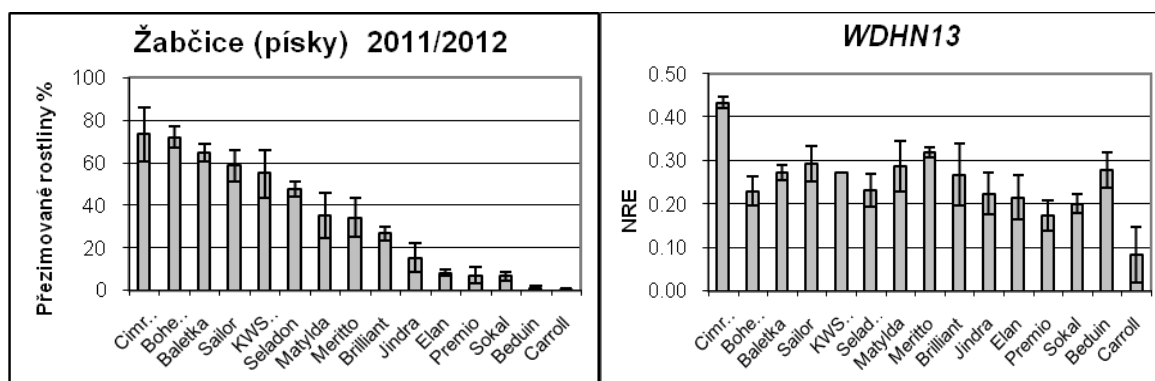
Stanovení a kumulace *COR*-proteinů u rostlin pěstovaných v regulovaných podmínkách. Byla vybrána skupina dehydrinů rodiny *WSC120* pro jejich poměrně stabilní hladinu akumulace během chladového otužování pšenice a pro možnost jejich vhodné ho kvantitativního stanovení pomocí densitometrické analýzy i imunoblotu /5,6/. U s ortimentu různě odolných pšenice byla zjištěna statisticky významná korelace mezi relativní akumulací dominantního dehydrinového proteinu (*WSC120*) a dosaženou mrazuvzdorností (vyjádřenou hodnotou *LT50*) při kultivaci rostlin za široké škály teplot (5 °C až 20 °C). Tyto výsledky ukázaly, že čím je teplota kultivace nižší, tím větší množství dehydrinu *WSC120* akumulují více odolné než méně odolné odrůdy (Obr. 1). Za důležitý poznatek považujeme také to, že odolné odrůdy začínaly akumulovat tento dehydrin již za vyšších teplot kultivace (15 až 20 °C), takže je možno je odlišit od málo odolných odrůd (genotypů) v méně nákladných způsobech pěstování /3,6/.

Stanovení exprese *COR* genů u rostlin odebraných z pole. Výsledky relativní exprese genů *WCS120*, *WDHN13* a *WRAB17* ze zimy 2011/2012 byly srovnány s přežitím rostlin pšenice po zimě na poli v Žabčicích (MENDELU) (Obr. 2). Korelační koeficienty byly statisticky významné pro expresi *WDHN13* a *WRAB17* (Tab. 1). Celkově však byly nižší než u experimentů z regulovaných podmínek. Vyšší hodnota korelačního koeficientu byla zjištěna, když byla porovnána suma exprese všech tří dehydrinů s přežitím (zimovzdorností)

odrodních (Tab. 1). Tyto výsledky ukázaly, že i při odběru rostlin z pole lze nalézt korelaci mezi expresí uve dených *COR*-genů a schopností odrůd tolerovat zimní stře. Vzhledem k proměnlivému počasí v polních podmínkách byla lepší shoda zjištěna, když byla do uvedené analýzy vybrána exprese více *COR*-genů, které tak lépe odrážely přizpůsobení rostlin vnějšímu prostředí a pravděpodobně i širší ochranné působení *COR*-genů u rostlin.



Obr. 1: Korelace mezi relativní akumulací dehydrinového proteínu (*WCS120*) u sortimentu pšenice pěstovaných za různých teplot (5, 10, 15 nebo 20 °C) a jejich dosaženou mrazuvzdorností vyjádřenou jako *LT50*. * nebo ** značí statisticky významnou korelaci na hladině 0.05 nebo 0.01. (upraveno podle /3/).



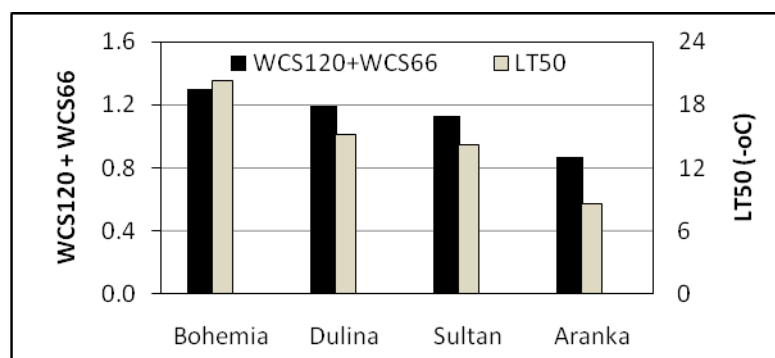
Obr. 2: Přežití rostlin jednotlivých odrůd pšenice po zimě 2011/2012 na lokalitě Žabčice a hodnocení exprese genu *WDHN13* při odběru rostlin 3. 12. 2011 z téže lokality.

Tab.1. Korelační koeficienty mezi relativní expresí tří *COR*-genů (*WCS120*, *WDHN13* a *WRAB17*) u rostlin 15 odrůd pšenice odebraných 3. 12. 2011 z pole a jejich přežitím po zimě 2011/2012. * nebo ** značí statisticky významnou korelaci na hladině 0,05 nebo 0,01

<i>WCS120</i>	<i>WDHN13</i>	<i>WRAB17</i>	<i>WCS120+ WDHN13+ WRAB17</i>
0,409	0,623*	0,565*	0,748**

Stanovení akumulace *WCS120* proteinů u rostlin odebraných z pole. Podobně jako při porovnání exprese *COR*-genů odebraných z pole byla zjištěna dobrá shoda mezi akumulací proteinů *WCS120* a mrazuvzdorností odrůd pšenice odebraných v zimě z pole. Jedná se o předběžné výsledky, z nichž uvádíme hodnocení čtyř odrůd pšenice, které byly odebrány 5.12.2013 z polních parcel a paralelně u nich byla stanovena akumulace proteinů

WCS120 rodiny a odolnost k mrazu (přímý mrazový test odebraných rostlin v mrazničkách VÚRV). Na obrázku 3 jsou porovnány velikosti LT50 (odráží mrazuvzdornost rostlin) a suma dvou dominantních proteinů z rodiny WCS120 (WCS120 a WCS66).



Obrázek 3 :Porovnání akumulace dvou dominantních dehydrinů (WCS120 a WCS66) s paralelně provedeným mrazovým testem (LT50) u souboru čtyř různě odolných pšenic odebraných z pole v prosinci 2013 ve VURV – Ruzyně.

1) V regulovaných podmínkách za dostatečné vlhkosti půdy a ozáření rostlin byla zjištěna významná korelace mezi akumulací WCS120 proteinu (dominantní protein z rodiny WCS120) a mrazuvzdorností odrůd pšenice pěstovaných v široké škále teplot od 5 do 20 °C.

2) V polním prostředí, kde jsou podmínky více proměnlivé, byla zjištěna větší korelace mezi mrazuvzdorností odrůd a sumou exprese několika *COR* genů (na úrovni transkriptů či proteinů) než jen při porovnání odolností s expresí jednotlivých genů.

LITERATURA

- /1/ Holková, L., Prášil, I.T., Bradáčová, M., Vítámvás, P., Chloupek, O.: Screening for frost tolerance in wheat using the expression of dehydrine genes Wcs120 and Wdhn13 at 17 °C. *Plant Breeding*, 128, 2009, 420–422.
- /2/ Kosová, K., Prášil, I.T., Vítámvás, P.: Role of dehydrins in plant stress response. In: Pessaraki, M. (ed): *Handbook of Plant and Crop Stress*. 3rd edition, revised and expanded. CRC Press, Taylor and Francis. Boca Raton, Florida, USA, 2010: 239–285.
- /3/ Kosová, K., Vítámvás, P., Prášilová, P., Prášil, I.T. Accumulation of WCS120 and DHN5 proteins in differently frost-tolerant wheat and barley cultivars grown under a broad temperature scale. *Biologia Plantarum*, 57, 2013, : 105–112.
- /4/ Prášil, I.T., Prášilová, P., Mařík, P. Comparative study of direct and indirect evaluations of frost tolerance in barley. *Field Crops Research*, 102, 2007: 1–8.
- /5/ Vítámvás, P., Saalbach, G., Prášil, I.T., Čapková, V., Opatrná, J., Jahoor, A. WCS120 protein family and proteins soluble upon boiling in cold-acclimated winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, 164, 2007: 1197–1207.
- /6/ Vítámvás, P., Kosová, K., Prášilová, P., Prášil, I.T. Accumulation of WCS120 protein in wheat cultivars grown at 9 °C or 17 °C in relation to their winter survival. *Plant Breeding*, 2010, 129: 611–616.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu MZe QJ1310055.

SOMATICKÁ EMBRYOGENÉZA JEDLE BIELEJ (*ABIES ALBA* MILL.): INDUKCIA EMBRYOGÉNNÝCH PLETÍV A ICH UDRŽIAVANIE METÓDOU KRYOKONZERVÁCIE

SOMATIC EMBRYOGENESIS IN SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.): INITIATION OF EMBRYOGENIC TISSUES AND THEIR MAINTENANCE BY CRYOPRESERVATION

Terezia Salaj, Andrej Kormuťák, Ján Salaj

Institute of Plant Genetics and Biotechnology, Slovak Academy of Sciences, Akademická 2, 95007 Nitra, Slovak Republic

Summary

Somatic embryogenesis has been initiated in silver fir *Abies alba* Mill. Immature zygotic embryos enclosed in megagametophytes dissected from unripe seeds were used as explants. The effect of different cytokinins (BA, KIN, ZEA, TDZ, 2-iP) on the initiation frequencies has been studied. The highest initiation frequency (13.3%) was obtained on nutrient medium containing zeatin (4.5 μM). The initiated tissues are being maintained on proliferation medium *in vitro*. For their cryopreservation the two step slow-freezing method has been used. The pretreatment in 0.5M sorbitol, 5% DMSO and liquid nitrogen for 2 hours resulted in regeneration of 90% of cell lines. No profound differences in respect to the growth and somatic embryo structure have been found between cryopreserved tissues and non-cryopreserved control.

Key words: somatic embryogenesis, slow-freezing method, plant growth regulators

Súhrn

Somatická embryogenéza bola indukovaná pri jedli bielej (*Abies alba* Mill.). Ako explantáty sa použili nezrelé zygotické embryá uzavreté v megagametofytoch. Sledovali sme vplyv cytokinínov (BA, KIN, ZEA, TDZ, 2-iP) na frekvencie indukcie. Najvyššia frekvencia indukcie (13.3%) bola zaznamenaná na živnom médiu s obsahom zeatínu (4.5 μM). Indukované embryogénne kultúry sa udržiavajú na proliferáčnom médiu *in vitro*. Na ich kryokonzerváciu sme použili dvojkrokovú metódu pomalého zmrazovania. Poletivá bola predšetrená 0.5M sorbitolom a 5%DMSO a boli ponorené do tektého dusíka na 2 hodiny. Po kryokonzervácii regenerácia bola zaznamenaná pri 90% bunko výchliní. Medzi kryokonzervovanými a kontrolnými plativami sme ne pozorovali výrazné rozdiely v raste alebo v štruktúre somatických embryí.

Kľúčové slová: somatická embryogenéza, metóda pomalého zmrazovania, rastové regulátory

INTRODUCTION

Since the first evidence of somatic embryogenesis initiation [1, 2] it has been demonstrated that a variety of plant species can undergo the process terminating by whole plant regeneration. Somatic embryogenesis and plantlet (somatic seedlings) regeneration has also been achieved for a number of conifer species belonging to genera *Abies*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*. In *Abies alba* somatic embryogenesis has been initiated from immature zygotic embryos [3, 4, 5, 6] but the somatic seedlings regeneration needs improvement. The aim of

our study was initiation of somatic embryogenesis under the influence of different cytokinins as well as testing of cryotolerance of selected cell lines using cryopreservation for the long-term maintenance of embryogenic tissues.

MATERIAL AND METHODS

Initiation of embryogenic tissues: for the initiation of embryogenic tissues megagametophytes dissected from immature seeds and containing zygotic embryos have been used as explants. The green cones were collected from *Abies alba* Mill. trees from region Orava (Slovakia). After surface sterilization the explants have been placed on culture media. For cultivation DCR medium /7/ supplemented with vitamins, enzymatic caseinhydrolysate (0.05%), glutamine (0.005%), sucrose (2%) has been used. The media have been solidified with gelrite (0.3%). The effect of plant growth regulators 6-benzyladenine (BA, 4.4 μM), kinetin (KIN, 4.6 μM), thidiazuron (TDZ, 4.5 μM), zeatin (ZEA, 4.5 μM) and dimethylallylaminopurin (2-iP, 4.9 μM) has been tested. The explants were cultured in dark at 23 °C. The same media were used for proliferation of initiated tissues.

Cryopreservation of embryogenic tissues: for cryopreservation 10 cell lines have been selected and the slow-freezing method has been applied to test their cryotolerance. The tissues were precultured on proliferation media with sorbitol (0.5M) for 24 hours. Following, the tissues were resuspended in the same liquid medium and gradually DMSO (10%) have been added to reach the final concentration 5%. The suspension has been pipetted to cryovials (1.8 ml) and the cryovials were placed into Mr Frosty container. The temperature in cryovials has been controlled by thermometer. The container was placed to -80 °C into deep freezer. After reaching the temperature -40 °C the samples were plunged to liquid nitrogen and kept there for 2 hours. Thawing of cryopreserved tissues occurred in water bath at 40 °C. The thawed tissues were cultured on proliferation medium in dark at 23 °C. The control 1 (C1) tissues were pretreated but not cryopreserved. Microscopic observations: the structure of somatic embryos has been studied using squash preparations staining with 2% acetocarmine. FDA examination has been used for the investigation of structural features after thawing. The preparations were examined under Zeiss Axioplan 2 bright field microscope.

RESULTS AND DISCUSSION

Initiation and characterisation of embryogenic tissues: the production of embryogenic tissues from megagametophyte explants started after two weeks of culture on nutrient media. White mucilaginous tissue extruded from the micropylar end of the megagametophyte. The tissues were rapidly growing and after reaching 5 mm in diameter were separated from primary explants and cultured as individual cell lines. The majority of initiated cell lines survived more than eight months of cultivation and at present are being cultured on proliferation medium. Two cell lines (A04 and A08) were very slowly growing and necrotised shortly after initiation (4 weeks). Altogether 312 megagametophyte explants were cultured and the embryogenic tissue initiation was evident on 25 of them (8.01%). Initiation of embryogenic tissue occurred on all the tested media with minor differences. The maximum initiation frequency was achieved on medium containing zeatin (13.3%). The initiation frequencies on the remaining media were as follows BA 6.6%, KIN 10.6%, TDZ 5.0%, 2-iP 4.5%. The embryogenic tissues initiated on nutrient media containing different cytokinins shared the same features: were of white colour and contained early bipolar somatic embryos. The embryonal part is composed of tightly packed meristematic cells attached to elongated vacuolised cells of suspensor. Cryopreservation of embryogenic tissues: tissue regeneration started very soon after thawing. Four-five days after thawing white filamentous structures were visible on proliferation medium. They proliferated and massive growth started in the second week of post-thaw period. Final evaluation of recovery was done at the week 7 of

regeneration. The control (C1) tissues showed 100% regeneration and the cryopreserved ones gave 90% tissue recovery.

Microscopic observation using FDA revealed, only the meristematic cells of embryonal parts survived cryopreservation. The elongated vacuolised suspensor was completely destroyed. On the other hand microscopic study of regenerated tissues showed that during post-thaw period the structure of somatic embryos was restored and the cryopreserved tissues were again composed of bipolar structures. Initiation of somatic embryogenesis in conifers requires nutrient media containing plant growth regulators auxins as well as cytokinins. Species belonging to genus *Abies* are able to produce embryogenic tissues on media with sole cytokinin as it was demonstrated in *Abies nordmanniana* /8/ and several *Abies* hybrids /9, 10/. For long-term storage of conifer embryogenic tissues the demonstrated slow-freezing method resulted in their high regeneration and post-thaw growth as well as somatic seedling production /1, 11/. Deintegration of bipolar structures as a result of cryopreservation has been observed in conifer embryogenic tissues (12). The regeneration of early somatic embryo starts with cell division in survived meristematic cells and is terminated by suspensor formation and this process leads to their complete regeneration /13/.

REFERENCES

- /1/ Reinert, J.: Morphogenese und ihre Kontrolle an Gewebekulturen aus Karkotten, *Naturwissenschaften*, 45, 1958: 344–345.
- /2/ Steward, F.C., Mapes, M.O., Smith, J.: Growth and organised development of cultured cells. II. Organisation in cultures grown from freely suspended cells. *American Journal of Botany*, 45, 1958: 693–703.
- /3/ Gebhardt, K., Weisberger, H., Fröhlich, H.J.: In vitro germination and production of embryogenic callus from liquid suspension cultures of *Abies alba*. In *International Conifer Tissue Culture Working Group*, Saskatoon, Canada, 1988.
- /4/ Schuller, A., Reuther, G., Geier, T.: Somatic embryogenesis from seed explants of *Abies alba*. *Plant Cell Tissue and Organ Cultures*, 17 (1), 1989: 53–58.
- /5/ Vooková, B., Kormuťák, A.: Improved plantlet regeneration from open-pollinated families of *Abies alba* trees of Dobro primeval forest and adjoining managed stand via somatic embryogenesis. *Biologia*, 64 (6), 2009: 1136–1140.
- /6/ Krajňáková, J., Bertolini, A., Goemery, D., Vianello, A., Häggman, H.: Initiation, long-term cryopreservation and recovery of *Abies alba* Mill. Embryogenic cell lines. *In Vitro Cellular and Developmental Biology–Plant*, 49 (5), 2013: 560–571.
- /7/ Gupta, P.K., Durzan, D.J.: Shoot multiplication from mature trees of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugar pine (*Pinus lambertiana*). *Plant Cell Reports*, 4 (4), 1985: 177–179.
- /8/ Norgaard, J.V., Krogstrup, P.: Cytokinin-induced somatic embryogenesis from immature embryos of *Abies nordmanniana* Lk. *Plant Cell Reports*, 9 (9), 1991: 509–513.
- /9/ Gajdosova, A., Vookova, B., Kormuťák, A., Libiakova, G., Doležel, J.: Induction, protein composition and DNA ploidy level of embryogenic calli of silver fir and its hybrids. *Biologia Plantarum*, 37 (1), 1995: 169–176.
- /10/ Salajova, T., Jásik, J., Kormuťák, A., Salaj, J., Hakman, I.: Embryogenic culture initiation and somatic embryo development in hybrid firs (*Abies alba* × *Abies cephalonica* and *Abies alba* × *Abies numidica*). *Plant Cell Reports* 15 (7), 1996: 527–530.
- /11/ Vondráková, Z., Čivkova, M., Eliasova, K.: Cryotolerance in Norway spruce and its association with growth rates, anatomical features and polyamines of embryogenic cultures. *Tree Physiology*, 30 (10), 2010: 1335–1348.
- /12/ Häggman, H., Rynainen, L., Aronen, T., Krajňáková, J.: Cryopreservation of embryogenic cultures of Scots pine. *Plant Cell Tissues and Organ Cultures*, 54 (1), 1998: 45–53.
- /13/ Kristensen, M.M.H., Find, J.I., Moeller, J.D., Norgaard, J.V., Krogstrup, P.: The origin and development of somatic embryos following cryopreservation of an embryogenic suspension culture of *Picea sitchensis*. *Protoplasma*, 182 (1–2), 1994: 65–70.

Acknowledgement

The experimental work was supported by Slovak Grant Agency VEGA, project 2/0136/14.

DOSTUPNÁ ZÁSoba VODY V PŮDĚ VE VZTAHU K HLOUBCE A DISTRIBUCI KOŘENŮ VYBRANÝCH PLODIN

AVAILABLE SUPPLY OF WATER IN SOIL IN RELATION TO DEPTH AND DISTRIBUTION OF ROOTS IN SELECTED CROPS

Pavel Svoboda, Jan Haberle

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 16106 Praha 6, Česká republika,
svoboda@vurv.cz

Summary

The data on root depth and distribution of selected crops in soil profile were used for estimation of maximum available water supply in root zone. Root depth and density were determined at winter and spring wheat, spring barley, oilseed rape, potatoes, sunflower and maize at several sites. Maximum available supply of water for crops was calculated as the proportion of total soil water at maximum soil water capacity of root zone. Water availability in subsoil layers was reduced according to root density distribution. The calculation was performed for light, medium and heavy soils. The calculated water supply ranged from 45 l.m⁻² for potatoes on sandy soil to 240 l.m⁻² for sunflower on loamy and clay-loamy soils.

Key words: root system, water depletion, subsoil

Souhrn

Údaje o hloubce a distribuci kořenů vybraných plodin v půdním profilu byly použity pro odhad možného množství vody dostupné plodinám. Hustota kořenů byla zjišťována u ozimé a jarní pšenice, jarního ječmene, řepky, brambor, slunečnice a kukuřice na několika lokalitách. Maximální dostupná zásoba vody byla vypočtena jako podíl z celkového obsahu vody v kořenové zóně na úrovni využitelné vodní kapacity vrstev půdy. Dostupnost vody v hlubších vrstvách byla redukována na základě distribuce hustoty kořenů. Výpočet dostupné zásoby vody byl proveden pro lehké, střední a těžké půdy. Tato maximální zásoba se pohybovala od 45 l.m⁻² u brambor na písčité půdě do 240 l.m⁻² u slunečnice na hlinité a jílovito-hlinité půdě.

Klíčová slova: kořenový systém, odběr vody, podorničí

ÚVOD

Růst kořenového systému určuje zásobu vody dostupnou plodinám v půdě. Základním ukazatelem je hloubka a distribuce kořenů v půdním profilu. Podíl z fyziologicky dostupného objemu vody v půdě, určeného využitelnou vodní kapacitou půdy (VVK), který jsou rostliny schopny využít, závisí na hustotě kořenů v jednotlivých vrstvách půdy, rychlosti růstu do hloubky a požadavku po rostu na vodu v interakci s dalšími fyzikálními vlastnostmi půdy a znaky kořenů. Určení objemu využitelné vody v kořenové zóně na počátku růstu je základem pro výpočet příjmu vody a případného nástupu vodního stresu v případě, že srážky v průběhu růstu nedoplňují dostatečně zásobu vody v půdě.

Vzhledem k rozmanitosti půdních podmínek a reakcí rostlin, nadzemních částí i kořenového systému na podmínky prostředí nelze experimentálně postihnout celý rozsah možných kombinací dostupnosti vody. Jako základ pro další výpočty je však užitečné určit typické hodnoty využitelné zásoby vody u hlavních plodin.

Cílem tohoto příspěvku bylo určit rozsah potenciálně využitelné zásoby vody v kořenové zóně vybraných plodin.

METODY A MATERIÁL

Distribuce kořenů byla dlouhodobě zjišťována u ozimé a jarní pšenice, jarního ječmene, řepky, brambor, slunečnice a kukuřice na dvou a více lokalitách, s odlišnými půdně-klimatickými podmínkami, v polních pokusech a na provozních pozemcích zemědělských podniků. Kořeny byly odebrány v období zrání (BBCH 73-80), kdy kořeny dosahují největší hloubky a růst kořenů jednoletých plodin již ustává. Vzorky půdy byly odebrány po vrstvách 10 cm, kořeny byly vyplaveny vodou, dočištěny a určena jejich celková délka podle Tennanta /8/ a vypočtena hustota kořenů (délka v jednotce objemu půdy).

Využitelná vodní kapacita pro odlišné půdní druhy byla vypočtena na základě jednoduchých pedostransferových funkcí (PTF) /6,9/, založených na vztahu obsahu jílnatých částic I. kategorie ($<0,01$ mm) a polní vodní kapacity půdy (PVK) nebo bodu vadnutí (BV) (viz také poster /3/). Byly použity průměrné hodnoty obsahu I. kategorie pro jednotlivé půdní druhy (třídy KPP) a průměr hodnot BV a PVK vypočtených podle obou uvedených autorů. Pro zjednodušení byl výpočet proveden pro stejný půdní druh v ornici i podorniči.

Pro výpočet rozsahu hodnot využitelné zásoby vody byly použity údaje o největší a nejmenší pozorované hloubce kořenů uvedených plodin. Výpočet předpokládá maximální potřebu vody porostem, která generuje odběr vody i z hlubších vrstev podorniči, kde je většinou menší hustota kořenů než v horních vrstvách půdy. Pro výpočet distribuce využití vody jsme na základě literárních a vlastních poznatků /4,5/ zvolili zjednodušený empirický přístup. V hustě prokořeněné ornici do 30 cm ve vrstvách podorniči s hustotou nad $0,5-1,0$ $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ lze předpokládat využití fyziologicky dostupné vodní zásoby kořenů /1, 2, 5, 7 aj./. V polních podmínkách, i při silném vodním stresu nedochází běžně k dosažení laboratorně určeného bodu trvalého vadnutí ($-1,5$ MPa) ve všech vrstvách půdy a zaschnutí rostlin. Proto jsme jako realisticky dostupnou hranici využití vody v této zóně s vysokou hustotou kořenů použili 90 % z VVK. V hlubších vrstvách je využití menší, z důvodu menší hustoty kořenů a postupného růstu kořenů do hloubky. Využití vody z těchto vrstev nastává až později v průběhu růstu, např. u obilnin ve fázi kvetení a nalévání zrna. Míru využití vody z těchto vrstev odvozujeme z hustoty kořenů. Z vrstev s hustotou kořenů pod $0,9$ $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ se využití zásoby dostupné vody snižuje úměrně poklesu hustoty kořenů. To znamená, že např. při hustotě $0,5$ $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ dokáže porost využít pouze 50 % ze zásoby určené hodnotou VVK. Využití vody z vrstev půdy pod hranicí dosahu kořenů zde neuvažujeme.

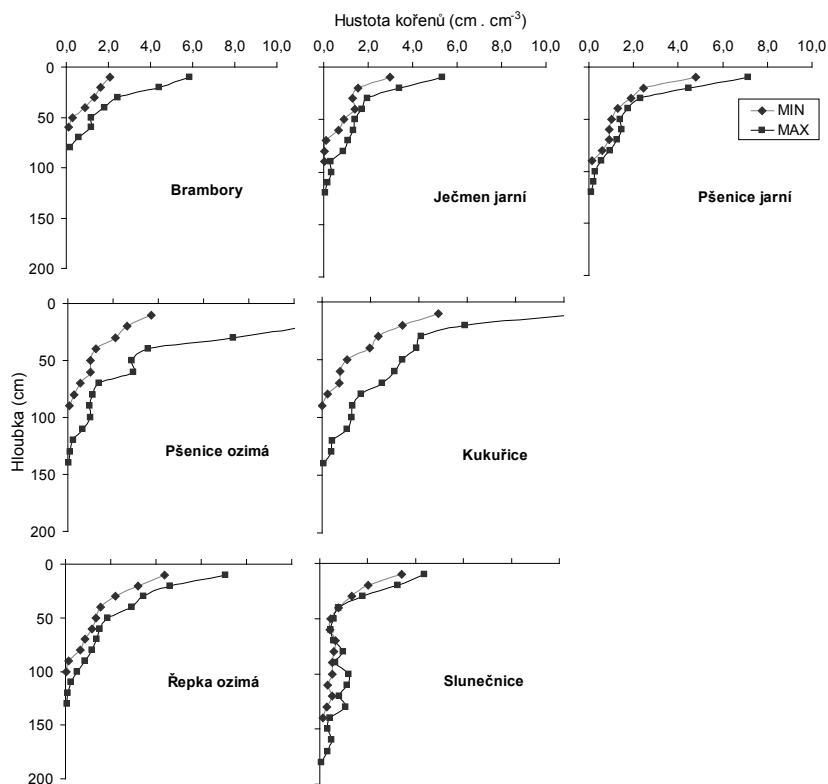
VÝSLEDKY A DISKUSE

Hodnoty VVK, vypočtené na základě výpočtu PVK a BV pomocí uvedených PTF se pohybovaly v rozmezí 11,5% u písčité půdy do 19,2% u hlinité a 19,7% u jílovito-hlinité půdy.

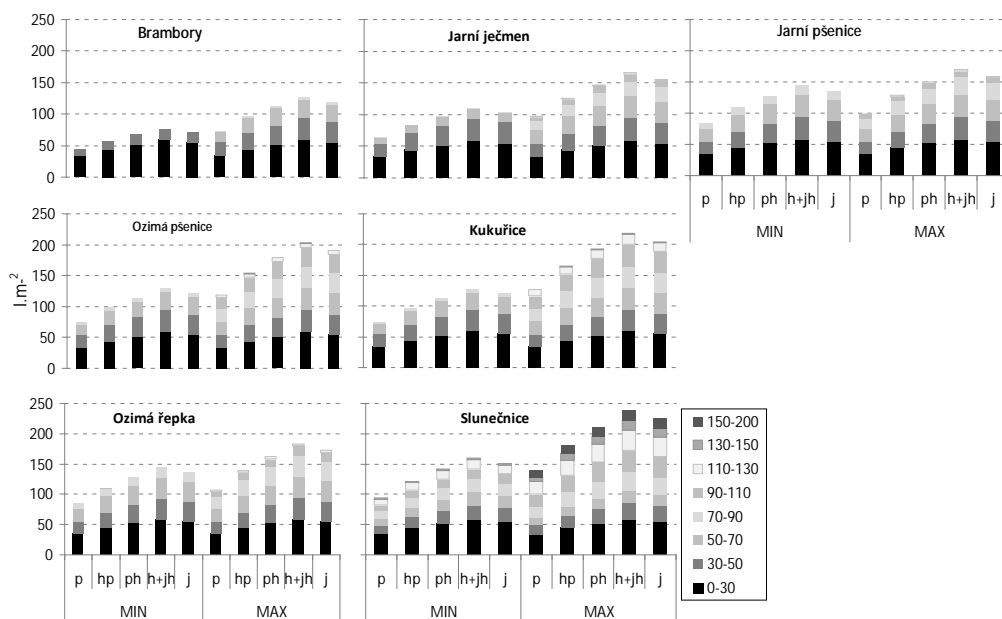
Distribuce kořenů vybraných plodin je znázorněna na obrázku č. 1. Vždy byl vybrán případ s největší a nejmenší hloubkou kořenů, bez ohledu na ročník a lokalitu. Je patrné, že distribuce hustoty kořenů většiny plodin má přibližně exponenciální průběh /3/, poněkud odlišnou distribuci vykazuje slunečnice.

Množství využitelné vody v kořenové zóně plodin pro jednotlivé půdní druhy, vyjádřené v litrech na m^2 , je znázorněno na obr. č. 2. Tato potenciálně využitelná zásoba se (při naplnění vlhkosti půdy na PVK) v celé kořenové zóně pohybovala od 45 $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}$ u brambor na písčité půdě do 240 $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}$ u slunečnice na hlinité a jílovito-hlinité půdě. Rozdíly mezi půdními druhy jsou patrné hlavně u málo zastoupených lehkých půd (písčítá, hlinito-písčítá), s nízkou VVK, ve srovnání s u nás nejčastějšími středními půdami.

Získané výsledky distribuce kořenů zahrnují jen malou část existujících půdně-klimatických a agrotechnických podmínek a proto se skutečná největší a nejmenší dostupná zásoba vody v kořenové zóně plodin bude pohybovat ve větším rozsahu. Růst kořenů také ovlivňuje samotné zrnitostní složení. Podle našich výsledků a literárních údajů je hloubka kořenů o 10–30 cm menší na lehkých půdách ve srovnání se středními půdami. Těch je v ČR většina, proto by uvedené výsledky měly být poměrně reprezentativní.



Obr. 1: Distribuce kořenů plodin v půdním profilu. Jsou zobrazeny případy s nejmenší a největší hloubkou kořenů.



Obr. 2: Využitelná zásoba vody (při dosažení úrovně PVK) vypočtená na základě distribuce kořenů plodin v půdním profilu. Jsou zobrazeny výsledky výpočtu na základě nejmenší (MIN)

a největší (MAX) pozorované hloubky kořenů (p: písčítá, hp: hlinito-písčítá, ph: písčito-hlinitá, h: hlinitá, jh: jílovito-hlinitá, j: jílovitápůda).

LITERATURA

- /1/ Atta, B.M, Mahmood, T., Trethowan R.M. Relationship between root morphology and grain yield of wheat in north-western NSW, Australia. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 2013: 2108–2115.
- /2/ Carvalho, P., Azam-Ali, S., Foulkes, M.J.: Quantifying relationships between rooting traits and water uptake under drought in Mediterranean barley and durum wheat. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2014: 1–14. doi: 10.1111/jipb.12109.
- /3/ Haberle, J., Svoboda, P.: Návrh postupu výpočtu zásoby vody v kořenové zóně plodin v provozních podmínkách. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2014, 10-11.9.2014, Zvolen. Česká zemědělská univerzita v Praze, Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied*, 2014:1–4.
- /4/ Haberle, J., Svoboda, P.: Porovnání exponenciálních modelů distribuce kořenů v půdním profilu a jejich použití pro simulaci pšenice. In: Rožnovský J., Litschmann T., Středová H., Středa T. (ed.): *Voda, půda a rostliny. Křtiny, 29.–30.5. 2013. Brno, 2013: 1–13 (CD). ISBN 978-80-87577-17-2.*
- /5/ Haberle, J., Svoboda, P.: Distribuce kořenů pšenice v půdním profilu a využitelná zásoba dusíku a vody. *Úroda*, 60, 2012, vědecká příloha časopisu, (CD): 79–84.
- /6/ Novotný, M., Kervališvili, D.M., Šanta, M.: *Závlaha poľných a špeciálnych plodín. 1. vy d. P ríroda, Bratislava, 1990: 312.*
- /7/ Passioura, J.B.: The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. In: *Drought resistance in crops with emphasis on rice. IRRI, Los Banos, Philippines, 1982: 71–82.*
- /8/ Tennant, D.: A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63, 1975: 995–1001.
- /9/ Váša, J.: Půdní vláhové charakteristiky. *Vodohospodársky časopis SAV*, 8, 1960: 235–243.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu Národní zemědělské agentury pro zemědělský výzkum QI111C080 a Výzkumného záměru MZE0002700604.

TESTOVÁNÍ STIMULACE KLÍČENÍ A POČÁTEČNÍHO RŮSTU PŘÍPRAVKŮ TRISOL

SEED TREATMENT WITH “TRISOL” STIMULATIVE PRODUCTS – SEED GERMINATION IMPACT

Božena Šerá^{1,2}, Miroslava Hájková^{3,4}

¹Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR, Na Sádkách 7, CZ 370 05 České Budějovice, Česká republika, e-mail:sera@nh.cas.cz

²Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Jeronýmova 10, CZ 371 15 České Budějovice, Česká republika

³BEIDEA, s.r.o., Dolní 142/6, CZ 747 23 Bolatice, Česká republika

⁴DURST VJV, 1. Máje 553/32, CZ 747 23 Bolatice, Česká republika

Summary

The seeds of barley (*Hordeum vulgare* L. RESPEKT) have been tested for stimulation effect of preparations originated in the BEIDEA company. Growth experiments were performed in sandy substrate, with 2 cm and 4 cm sowing, and under controlled conditions. Seed development, growth and dry weight of under- and aboveground seedlings were monitored. All preparations had a positive effect on the seed development and growth. Growth stimulatory effect is discussed in the text.

Key words: plant technology, stimulation, seed development, early growth.

Souhrn

Na obilkách ječmene (*Hordeum vulgare* L. RESPEKT) byl ověřován stimulační efekt preparátů firmy BEIDEA. Růstové pokusy probíhaly v kontejnerech s pískem, při seti do 2 cm a 4 cm hloubky při kontrolovaných laboratorních podmínkách. Sledována byla vzcházivost obilek, růst a hmotnost sušiny nadzemních a podzemních orgánů. Všechny vyvíjené přípravky měly pozitivní vliv na vzcházivost a na růst. Stimulační efekt růstu je diskutován v textu.

Klíčová slova: rostlinné technologie, stimulace, vzcházivost semen, počáteční růst.

ÚVOD

Tradiční zemědělství je založeno na pěstování omezeného počtu druhů plodin a posilování jejich růstu a obranyschopnosti proti škůdcům různými chemickými prostředky. Jedním z kroků od konvenčního k alternativnímu zemědělství je snížení dávek stávajících biocidů (insekticidů, herbicidů, pesticidů apod.) nebo jejich náhrada za látky stejně účinné, ale neškodící životnímu prostředí (např. biodegradabilní). Vstup nanotechnologií do výzkumu stimulačních preparátů odpovídá novým trendům agro-potravinářského komplexu vospělých zemí /1/.

Tento příspěvek se zabývá testováním účinku přípravků nové generace pro lepší vývoj a růst rostlin. Výroba testovaných přípravků spočívá v určité fyzikální úpravě použitých přírodních látek s obsahem mikroprvků (know how firmy). Principem je aktivizace těchto mikroprvků na přirozeně působící stresové látky a odpověď rostlin na toto působení. Testování přípravků bude probíhat na obilkách ječmene obecného (*Hordeum vulgare* L.).

Ječmen (*Hordeum*) je rod jednoděložných rostlin, patřící do čeledi Poaceae (lipnicovitě). Rod *Hordeum* zahrnuje 30 druhů planých ječmenů a jeden druh kulturní, ječmen

obecný. Kulturní ječmen je diploidní ($2n = 14$) a podle uspořádání klasu může být, čtyř- nebo šestiřadý (vzácně dvouřadý) /2/. Podle způsobu pěstování rozlišujeme ječmen jarní a ozimý. Ječmen setý je tedy jednou z hospodářsky nejvýznamnějších zemědělských komodit. V současné době zaujímá produkci a rozsahem osevných ploch ve světě čtvrté místo mezi obilovinami a to po rýži, pšenici a kukuřici /3/. V České republice je druhou nejrozšířenější obilovinou /4/.

Z hlediska počátečního vývoje porostu je nejdůležitější volba správného načasování výsevu. Vyrovnanost vzcházení a založení dostatečného počtu odnoží je výhodnější, pokud je výsev realizován co nejdříve, krátce na začátku jara, dokud je dostatečná zásoba půdní vláhy a kratší den podporující odnožování a omezující prodlužovací růst /5/. Výsev nesmí být proveden do nedostatečně oschlé, studené, nevyzrálé půdy. Jarní ječmen je pak v době klíčení a počátečních fází růstu vystaven nadměrnému stresu, který ovlivňuje architekturu porostu, vede sekundárním napadení chorobami a k celkovému snížení výnosu.

Testování vyvíjených preparátů bude prováděno na hospodářsky důležité obilnině a navíc na rostlině, která je citlivá na jarní výkyvy počasí v závislosti na a grotechnickém postupu. Testy jsou směřovány do výzkumu takových stimulatorů, které zajistí lepší odnožování a snášení přísušku při počátečním růstu. Výsledky testů poslouží k udání směru dalšího vývoje této kategorie stimulačních rostlinných preparátů.

MATERIÁL A METODY

Popis testovaných přípravků

TRISOL SEED

Soli huminových látek (50 % v sušině), směs aminokyselin (15 % v sušině), výtazek z mořských řas (3 % v sušině), molybden a bor (obsah směsi 5 % v sušině), kompletní škála mikro a makroprvků (poměrově odpovídající průměrnému zastoupení v rostlinách), kombinace syntetických auxinů.

TRISOL Univerzál

Soli huminových a fulvo kyselin (66 % v sušině) společně s prvky železo, zinek, hořčík, bór, molybden a měď (celkem 5 % v sušině).

TRISOL List

Soli huminových látek (40 % v sušině), směs aminokyselin (15 % v sušině), rostlinné hormony cytokininy, molybden a bor (obsah směsi 1 % v sušině).

TRISOL SILVA

Soli huminových látek (25 % v sušině), směs aminokyselin (5 % v sušině), výtazek z mořských řas (1 % v sušině), přírodní sacharidy (20 % v sušině), molybden a bor (obsah směsi 3 % v sušině), kompletní škála mikro a makroprvků (poměrově odpovídající průměrnému zastoupení v rostlinách), stříbro v chelátových vazbách (obsah řádově v 0,1 %).

Stimulační testy

Obilky ječmene obecného (*Hordeum v.ulgare* L. RESPEKT) byly namořeny testovanými látkami v laboratorních podmínkách (design viz Tabulka 1). Namořeno bylo vždy minimálně 0,1 kg osiva. Pro stanovení vzcházivosti a růstových parametrů byly použity unifikované plastové kontejnery 11×11×12 cm s objemem substrátu 1 l. Použitým substrátem byl dezinfikovaný (60 min, termostat 60 °C) jemný křemičitý písek (Redrock, zrnitost 0,1–0,5 mm). Do každého kontejneru bylo vpraveno 16 obilek do hloubky 2 cm (případně 4 cm). Pro každou variantu bylo založeno 12 kontejnerů s 16 obilkami, tedy 192 rostlin pro jeden typ ošetření.

Kontejnery byly umístěny v kultivační místnosti s režimem 18 °C, 12 hod den a 12 hod noc. Kontejnerům byla jednotně dodávána závlaha přes zavlažovací tácy (odstátá voda z vodovodu). Během růstu rostlin byl sledován jejich vývoj a růst: rovnoměrnost vzcházení,

výška rostlin, počet listů. Na konci kultivace (stop stanoven podle fitness rostlin) byla nadzemní a podzemní biomasa sklizena, usušena a zvážena.

Získaná data byla vyhodnocena pomocí logaritmické transformaci pomocí standardních statistických testů určujících odlišnost variant (jednocestná ANOVA, Tukey HSD test, $P < 0,05$).

Tab 1: Dosažená pokusu – množství přípravku (ml) použitého na moření osiva ječmene obecného (vztaheno na 1000 semen).

Preparát / Hloubka setí	2 cm	4 cm
TRISOL SEED	0,050	-
TRISOL SEED	0,035	0,035
TRISOL Univerzál	0,040	-
TRISOL List	0,075	-
TRISOL SILVA	0,050	-

VÝSLEDKY A DISKUSE

Všechny ošetřené obilky vzcházely lépe než kontrolní sety, ale ne na statisticky významné hladině (Tabulka 2). Nejvyšší hodnoty zaznamenané na konci kultivace byly u namořených obilek přípravkem TRISOL Univerzál 135 % (0,8 l/t, 2 cm hloubka) a TRISOL SEED 111 % (1 l/t, 4 cm hloubka).

Ošetřené obilky po setí do hloubky 2 cm vykazovaly větší délky lodyh (o 3 – 8 %) v porovnání s kontrolou. Obilky seté do 4 cm hloubky měly naopak lodyhy kratší. Signifikantní rozdíl byl u obilek namořených přípravkem TRISOL SEED 108 % (1 l/t, 2 cm hloubka) a největší rozdíl (13 %) a TRISOL SEED 90 % (0,7 l/t, 4 cm) vzhledem k příslušným kontrolám.

Tab 2: Procentuální vyjádření vzcházivosti a parametrů počátečního růstu u ječmene setého. Různá písmena ve sloupci HSD uvádí významné rozdíly zjištěné v testu Tukey ($P < 0.05$) při porovnávání každý s každým. Tučně jsou vyznačené významné rozdíly u ošetřených obilek vzhledem k příslušné kontrole.

Varianta	l/t	Vzcházivost (%)	HSD	Délka lodyhy (%)	HSD	Délka kořínku (%)	HSD	Hmotnost lodyh (%)	HSD	Hmotnost kořínků (%)	HSD
Hloubka 2 cm											
Kontrola	-	100	ab	100	a	100	ab	100	ac	100	c
TRISOL SEED	1	111	a	108	b	108	bc	133	abc	80	c
TRISOL SEED	0,7	107	a	113	abc	113	bc	155	abc	95	c
TRISOL Univerzál	0,8	135	a	107	abc	110	bc	183	b	93	c
TRISOL List	1,5	122	a	108	abc	86	ab	191	b	95	c
TRISOL SILVA	1	107	a	108	abc	103	bc	150	abc	68	a
Hloubka 4 cm											
Kontrola	-	100	b	100	c	100	c	100	c	100	b
TRISOL SEED	0,7	171	ab	90	b	76	ab	151	abc	158	ab

V délce kořínků převažoval pozitivní vliv použitých preparátů. Mimo obilky ošetřené TRISOL List (1,5 l/t, 2 cm) a TRISOL SEED (1 l/t, 4 cm hloubka) byly kořínky na konci kultivace delší než příslušné kontroly. Největší délka kořínků byla zaznamenána u TRISOL SEED (0,7 l/t, 2 cm), kde byly kořínky o 13 % delší než u kontroly (statisticky nevýznamné).

Všechny ošetřené obilky vykazovaly větší hmotnost lodyh než kontrolní sety. Signifikantní rozdíly byly potvrzeny u obilek namořených přípravky TRISOL List 191 % a TRISOL Univerzál 183 % při setí do 2 cm hloubky.

Všechny ošetřené obilky seté do hloubky 2 cm měly menší hmotnost kořínků. Po ošetření TRISOL SILVA (1 l/t, 2 cm hloubka) byl zaznamenán významný úbytek o 32 %

v porovnání s kontrolou. U obilek ošetřených TRISOL SEED (0,7 l/t) a setých do hloubky 4 cm byl zaznamenán trend ke zvyšování hmotnosti kořenů (158 %).

U testovaných obilek ječmene vykazovaly přípravky TRISOL List a TRISOL Univerzál pozitivní trend ke vzcházivosti a měly signifikantní vliv na investici do nadzemní biomasy.

Zajímavé výsledky vykazovaly obilky ošetřené TRISOL SEED. Obilky ošetřené TRISOL SEED seté do hloubky 2 cm měly tendenci dobře vzcházet, prodlužovat délku kořínků a investovat do nadzemní biomasy. Oproti tomu obilky seté do hloubky 4 cm také dobře vzcházely, ale měly tendenci investovat do biomasy nadzemních i podzemních orgánů (sukulentizace, odnožování). U těchto obilek byl zaznamenán signifikantně nižší vzrůst rostlin i kratší kořeny. Vyšší koncentrace TRISOL SEED způsobily větší růst nadzemních částí rostlin. Z výsledků vyplývá, že TRISOL SEED může ovlivnit počáteční růst semenáčků v době stresové zátěže (např. sucho).

LITERATURA

- /1/ Návrh národního programu výzkumu
http://aplikace.msmt.cz/HTM/castIIIPriloha1NNPPVVdovlady15_4.htm, 8.11.2012
- /2/ Kubát, K., Hrouda, L., Chrtek, J. jun., Kaplan, Z., Kirschner, J., Štěpánek, J. (ed.): Klíč ke květeně České republiky. Academia, Praha, 2002.
- /3/ ČSU: Vývoj osevních ploch a první odhad sklizně, 2012.
[http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/1e01747a199f30f4c1256bd50038ab23/94912c113edf4287c1257a460031d437/\\$FILE/skl072612analyza.pdf](http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/1e01747a199f30f4c1256bd50038ab23/94912c113edf4287c1257a460031d437/$FILE/skl072612analyza.pdf), 1.4.2014
- /4/ Dreiseitl, A.: Adaptation of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* to barley resistance genes in the Czech Republic in 1971–2000. *Plant, Soil and Environment*, 49 (6), 2003: 231–248.
- 5/ Kolektiv: Jarní ječmen od A do Z. Bayer CropScience, Praha. 2008.

Poděkování

Prezentovaná práce vznikla za finanční podpory firem BEIDEA, s r.o. a DURST VJV.

VPLYV ZINKU NA RASTOVÉ A FYZIOLOGICKÉ PARAMETRE RASTLÍN KUKURICE SIATEJ (*Zea mays* L.) V PODMIENKACH ZASOLENIA

EFFECT OF ZINC ON GROWTH AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF MAIZE (*Zea mays* L.) UNDER SALT CONDITIONS

Lenka Šimková, Ivana Fialová, Barbora Sedláková, Miroslava Luxová
Botanický ústav Slovenskej akadémie vied, Oddelenie fyziológie rastlín, Dúbravská cesta 9,
Slovenská republika, 845 23 Bratislava

Summary

Soil salinity is a serious agricultural problem, which reduces the production of crops. Zinc is released during mining and causes unwanted contamination of the soil. We compared effect of salt, zinc and their interaction on young maize plants (*Zea mays* L.), hybrid Almansa. The plants were grown under controlled condition. We observed growth parameters such as length of the primary root, fresh weight and dry weight of aboveground and underground parts of plants and leaf area. Some physiological parameters such as content of soluble proteins and protein pattern of primary root, 1. and 2. leaf were also studied. We used 150 mM NaCl and two different concentrations of Zn, 50 and 500 μ M.

Key words: growth parameters, maize, proteins, salinization, zinc

Súhrn

Zasolenie pôd je vážny poľnohospodársky problém, ktorý spôsobuje pokles rastlinnej produkcie. Zinok sa dostáva do pôdy ako neželaný kontaminant pri ťažbe. Porovnávali sme vplyv NaCl, Zn a ich interakciu na mladé rastliny kukurice siatej (*Zea mays* L.), hybrid Almansa, pestované v kontrolných podmienkach. Sledovali sme rastové parametre ako sú dĺžka primárneho koreňa, čerstvá hmotnosť a hmotnosť sušiny podzemnej a nadzemnej časti a listová plocha. Predmetom nášho záujmu boli tiež niektoré fyziologické parametre ako obsah rozpustných bielkovín a bielkovinový obraz primárneho koreňa, 1. a 2. listu. Pracovali sme s 150 mM NaCl a dvomi koncentraciami Zn, 50 a 500 μ M.

Kľúčové slová: bielkoviny, kukurica siata, rastové parametre, zasolenie, zinok

ÚVOD

Zvýšená salinita pôd je v súčasnosti jedným z najvýznamnejších poľnohospodárskych problémov. Zasolenie posiluje v najvýraznejšej miere suchú zavláženú pôdu. Zvýšená salinita pôdy môže negatívne vplyvať na rast rastlín. Pôsobenie stresu poškodzuje proteíny alebo zapríčiňuje zmenu v ich expresii. Schopnosť zachovať bielkoviny a ich funkčnú konformáciu je kľúčová pre prežitie rastliny. Environmentálny stres aktivizuje súbory génov, ktoré spôsobujú akumuláciu špecifických bielkovín [1]. V súvislosti so stresom zo zasolenia sú identifikované bielkoviny, ktoré sa syntetizujú len v podmienkach stresu zo zasolenia alebo tie, ktoré sa syntetizujú ako odpoveď na abiotický stres. Vplyvom stresu sa spúšťa syntéza bielkovín, ktoré sa v rastline bežne nevyskytujú, alebo sa vyskytujú len v minimálnej miere [2].

Zinok patrí medzi esenciálne prvky a podľa viacerých štúdií pomáha zmierniť negatívny vplyv stresu na rastliny [4]. Prostredníctvom stimulácie aktivity antioxidantných

enzýmů zmierňuje oxidačný stres /1/. Zmiernenie následkov stresu zo zasolenia prostredníctvom pr idania Zn poz orovali a utori pr i pi stácii pr avej (*Pistacia vera* L.) /16/. Avšak, Zn je ťažký kov a jeho vysoká koncentrácia je pre rastlinu toxická /17/. Na Slovensku je v dôsledku geochemického zloženia Zápádnych Karpát a ťažby zvýšená koncentrácia ťažkých kovov v pôde pomerne častým javom. Najvyššie hodnoty Zn sú zaznamenané v oblasti cen trálneho Spieša a Štiavnických vrchov /12/. Vzhľadom na súčasnú environmentálnu záťaž často dochádza k spolupôsobeniu viacerých stresorov. Preto sa zaoberáme spolupôsobením zasolenia a Zn.

MATERIÁL A METÓDY

Sterilizované semená kukurice siatej (*Zea mays* L.), hybrid Amansa, klíčili v termostate v tme pri 26 °C. Po troch dňoch sme klíčence sadili do Hoaglandovho živného roztoku /9/ v 6 variantoch po 32 rastlín. Varianty sa líšili obsahom zinku a soli: kontrola; 50 μM Zn; 500 μM Zn; 150 mM NaCl; 50 μM Zn + 150 mM NaCl; 500 μM Zn + 150 mM NaCl pri pH 6 – 6,2. Zinok sme pridávali vo forme $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Trojdňové rastliny sme pestovali 9 dní v prítomnosti stresorov v kontrolovaných podmienkach pri fotoperióde 300 μmol m⁻² s⁻¹ 16/8h pri teplote 24/22 °C deň/noc. Na základe uniformity sme odobrali z každého variantu 15 rastlín na stanovenie rastových parametrov. Sledovali sme dĺžku, čerstvú hmotnosť a hmotnosť sušiny primárneho koreňa a listovú plochu, čerstvú hmotnosť a hmotnosť sušiny nadzemnej časti. Obsah rozpustných bielkovín sme stanovovali v koreni a v 1. a 2. liste. Vzorky (0,5 g) sme homogenizovali a centrifugovali pri 12 000 g 20 min. Supernatant sme prečistili gélovou fixáciou na kolóne Econo-Pack 10 D G. Stanovili sme obsah bielkovín v supernatante /4/ použitím BSA ako štandardu. Bielkoviny sme separovali a nodickou SDS-PAGE /13/ a vizualizovali pomocou farbenia striebrom /15/.

Prezentované výsledky sú z dvoch nezávislých pokusov a výsledné hodnoty uvádzame ± SE. Na štatistickú analýzu sme použili ANOVA (LSD test, program Statgraphic; P ≤ 0,05)

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Naše výsledky potvrdili negatívny vplyv soli a pozitívny vplyv Zn na hodnoty rastových parametrov /5/. Pokles dĺžky primárneho koreňa, pokles čerstvej hmotnosti aj hmotnosti sušiny podzemnej aj nadzemnej časti a listovej plochy vplyvom soli (Tab. 1 a 2) zaznamenali pri kukurici, rovnako ako my, aj iní autori /6/.

Tab. 1: Rastové parametre podzemnej časti kukurice siatej (*Zea mays* L.).

	dĺžka primárneho koreňa (mm)	čerstvá hmotnosť (mg)	hmotnosť sušiny (mg)
kontrola	28,46 ± 0,71h	763,56 ± 26,59d	35,72 ± 0,92efg
50 μM Zn	26,15 ± 0,73g	805,38 ± 25,52de	38,24 ± 1,06gh
500 μM Zn	22,39 ± 0,65f	858,95 ± 65,72ef	41,15 ± 1,18h
150 mM NaCl	19,70 ± 0,50cd	349,54 ± 21,35a	23,50 ± 1,17a
150 mM NaCl + 50 μM Zn	20,27 ± 0,42de	422,87 ± 25,23abc	26,23 ± 1,15abc
150 mM NaCl + 500 μM Zn	18,04 ± 0,37ab	499,18 ± 22,04c	30,69 ± 1,09cde

Hodnoty vyjadrujú priemerné hodnoty rastových parametrov z dvoch nezávislých meraní ± SE. Písmená za hodnotami priemeru udávajú rozdiely na hladine významnosti P ≤ 0,05.

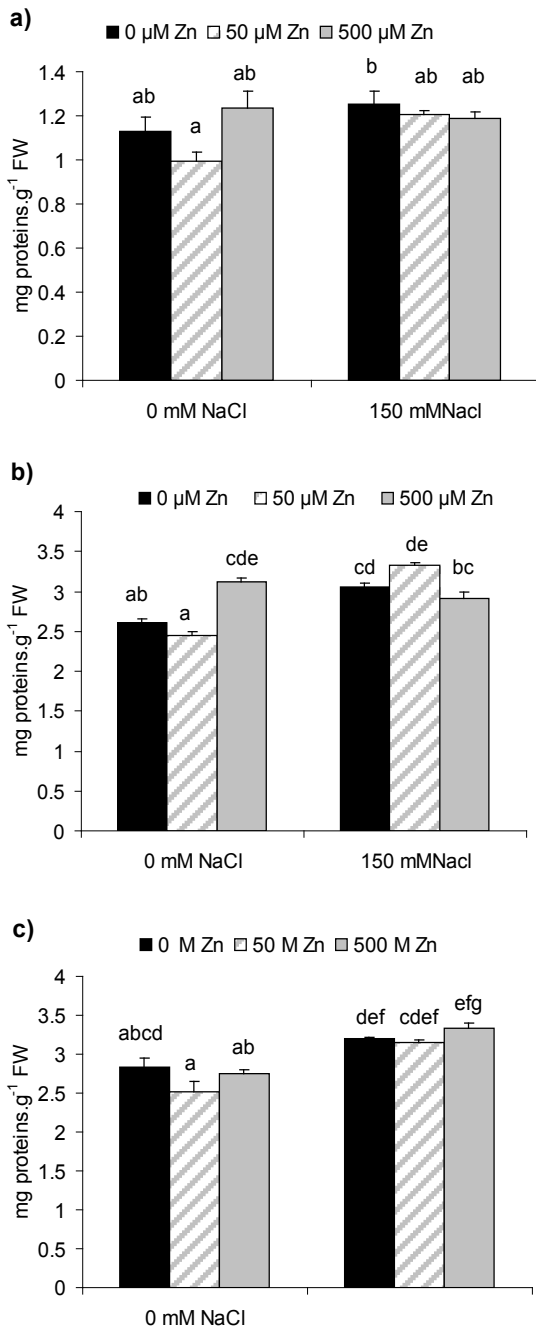
Pridanie Zn do živného roztoku malo za následok pokles dĺžky primárneho koreňa a naopak nárast čerstvej hmotnosti aj hmotnosti sušiny podzemnej časti v prítomnosti NaCl aj bez NaCl /3/. Dĺžka primárneho koreňa vplyvom 50 μM Zn v prítomnosti soli mierne stúpla, kým vplyvom vyššej koncentrácie 500 μM Zn sa prejavil synergický účinok oboch stresorov preukazným poklesom dĺžky v porovnaní s variantom obsahujúcim len soľ.

Tab. 2: Rastové parametre nadzemnej časti kukurice siatej (*Zea mays* L.).

	čerstvá hmotnosť (mg)	hmotnosť sušiny (mg)	listová plocha (cm ²)
--	-----------------------	----------------------	-----------------------------------

kontrola	1969,45 ± 78,76def	120,97 ± 3,93de	53,82 ± 0,75e
50 μM Zn	1848,27 ± 42,93de	114,08 ± 2,00d	49,08 ± 0,65d
500 μM Zn	1815,79 ± 78,27d	113,88 ± 3,53d	49,89 ± 0,67d
150 mM NaCl	597,84 ± 55,68a	57,02 ± 5,17a	18,04 ± 0,86a
150 mM NaCl + 50 μM Zn	646,82 ± 51,21ab	61,43 ± 4,58ab	18,68 ± 0,64a
150 mM NaCl + 500 μM Zn	779,70 ± 27,06b	70,73 ± 1,49b	22,97 ± 0,56c

Hodnoty vyjadrujú priemerné hodnoty rastových parametrov z dvoch nezávislých meraní ± SE. Písmená za hodnotami priemeru udávajú rozdiely na hladine významnosti $P \leq 0,05$.



Obr. 1: Obsah rozpustných bielkovín v (a) koreni (b) liste 1 a (c) liste 2 kukurice siatej (priemer ± SE; $P \leq 0,05$).

Hodnoty rastových parametrov nadzemnej časti bez soli vplyvom Zn klesli, avšak pokles hmotnosti nebol v porovnaní s kontrolou prístupný. V prítomnosti soli naopak, hodnoty s ledovanými parametrami vplyvom Zn stúpili. Výraznejší vplyv mala vyššia koncentrácia Zn. Samostatný Zn spôsobil pokles listovej plochy v porovnaní s kontrolou /7/. A však pokles spôsobený vplyvom Zn bol v porovnaní s poklesom spôsobeným soľou len nepatrný. Výsledky naznačujú, že Zn by mohol mať pozitívny vplyv na rast kukurice s iatej (hybrid Almansa) v podmienkach zasolenia.

Zahoor et al. (2011) /18/ pozorovali nárast v porovnaní s kontrolou /14/. Preukazný nárast sme zaznamenali v 1. a 2. liste bez Zn, alebo v prítomnosti nižšej koncentrácie Zn (50 μM). Pri 2. liste sme pozorovali nárast bielkovín pri oboch koncentráciách Zn (Obr. 1). Vyššia koncentrácia NaCl spôsobuje pokles obsahu rozpustných bielkovín, kým nižšia spôsobuje zvýšenie /8/. Môžeme predpokladať, že rozdielnosť našich výsledkov a výsledkov Zahoor et al. (2011) je spôsobená odlišnou dobou pôsobenia stresu. Poklesu obsahu rozpustných bielkovín prichádza z vyššej syntézy obranných bielkovín. Nezaznamenali sme prístupnú zmenu v obsahu rozpustných bielkovín v koreni vplyvom Zn. Jedinú zmenu sme zaznamenali vplyvom 500 μM Zn v 1. liste – preukazné zvýšenie.

Vplyvom 500 μM Zn sme zaznamenali zvýšenie a akumuláciu bielkovín s molekulovou hmotnosťou približne 26,3 kDa v koreni. Nezaznamenali sme vplyvom NaCl a nielen akumuláciu bielkovín, ktoré by sa v kontrole nevyskytovali aspoň v minimálnej miere /10/.

LITERATÚRA

- /1/ Aravind, P., Prasad, M.N.V.: Zinc alleviates cadmium-induced oxidative stress in *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41, 2003: 391–397.
- /2/ Ashraf, M., Harris, P.J.C.: Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166, 2004: 3–16.
- /3/ Aslam, M., Ranjha, A.M., Akhtar, J.: Salinity tolerance of rice as affected by Zn application. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3, 2000: 2055–2057.
- /4/ 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: 48–54.
- /5/ Bybordi, A.: Zinc, nitrogen and salinity interaction on agronomic traits and some qualitative characteristics of canola. *African Journal of Biotechnology*, 10, 2011: 16813–16825.
- /6/ Çiçek, N., Çakırlar, H.: The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 28, 2002: 66–74.
- /7/ Dibaccio, D., Minnocci, A., Sebastiani, L.: Leaf structural modifications in *Populus × euramericana* subjected to Zn excess. *Biologia plantarum*, 54, 2010: 502–508.
- /8/ Hassanien, R.A., Hassanien, A.A., Haider, A.S., Hashem, H.A., Hahem, H.A.: Improving salt tolerance of *Zea mays* L. plants by pre-soaking their grains in glycine betaine. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, 2009: 928–942.
- /9/ Hoagland, D.R., Arnon, D.I.: *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. 1950: Circular 347 – California Agricultural Experiment Station. College of Agriculture, University of California – Berkeley, 1950: 31.
- /10/ Hurkman, W.J., Fornari, C.H.S., Takana, C.H.K.: A comparison of the effect of salt on polypeptides and translatable mRNAs in roots of salt-tolerant and salt-sensitive cultivar of barley. *Plant Physiology*, 90, 1989: 1444–1456.
- /11/ Ingram, J., Bartels, D.: The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 90, 1996: 377–403.
- /12/ Kobza, J.: Soil and plant pollution by potentially toxic elements in Slovakia. *Plant, Soil and Environment*, 51, 2005: 243–248.
- /13/ Laemmli, U.K.: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 1970: 678–682.
- /14/ Sacala, E., Demczuk, A., Grzyś, E., Sobczak, A.: The effect of salt stress on growth and biochemical parameters in two maize varieties. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 71, 2002: 101–107.
- /15/ Shevchenko, A., Wilm, M., Vorm, O., Mann, M.: Mass spectrometric sequencing of protein from silver-stained polyacrylamide gels. *Analytical Chemistry*, 68, 1996: 850–858.
- /16/ Tavallali, V., Rahemi, M., Enshghi, S., Kholdebarin, B., Ramezani, A.: Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L.). *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 34, 2010: 349–359.
- /17/ Tewari, R.K., Kumar, P., Sharma, P.N.: Morphology and physiology of zinc-stressed mulberry plants. *Journal of Plant Nutrition of Soil Science*, 171, 2008: 286–294.
- /18/ Zahoor, M., Khaliq, R., Zafar, U.Z., Athar, H.: Degree of salt tolerance in some newly developed maize (*Zea mays* L.) varieties. *Iran Journal of Plant Physiology*, 1, 2011: 223–232.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná a gentúrou na podporu v ýskumu a v ývoja na základe zmluvy č. APVV- 0140-10 a projektom VEGA grand č. 2/0022/13.

ZMĚNY V OBSAHU NASYCENÝCH A NENASYCENÝCH MASTNÝCH KYSELIN V EKOTYPECH ROSTLIN RODU *NOCCAEA* ROSTOUCÍCH NA PŮDĚ KONTAMINOVANÉ KADMIEM

CHANGES IN THE CONTENT OF SATURATED AND UNSATURATED FATTY ACIDS IN ECOTYPES OF *NOCCAEA SP.* GROWING ON SOIL CONTAMINATED BY CADMIUM

Veronika Zemanová¹, Pavlína Kyjáková², Daniela Pavlíková¹, Jana Najmanová¹

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, zemanovav@af.czu.cz

²Ústav organické chemie a biochemie AV ČR v.v.i., Flemingovo náměstí 2, 166 10 Praha 6 – Dejvice, Česká republika

Summary

The fatty acids profiles in plant biomass of *Noccaea caerulescens* (FK Mey) are reported. The content of individual fatty acids was observed on three ecotypes of *Noccaea caerulescens* from France, Slovenia and Austria. Plants were exposed to different Cd soil contamination: 0, 30 and 90 mg.kg⁻¹ soil. The same trend, increase of unsaturated fatty acids content in the above-ground biomass of ecotypes from France and Slovenia was observed. Differences of ecotypes were determined in content of C16:0, C18:0, C18:2, C18:3 and C24:0 fatty acids. Trend of ecotype from Austria was ambiguous. Accumulation of Cd was the highest in the plants from Slovenia in contrast to the most Cd-tolerant population from France.

Key words: oxidative stress, risk elements, ecotypes, hyperaccumulation, *Thlaspi sp.*

Souhrn

Profil mastných kyselin byl zjištěn v rostlinné biomase *Noccaea caerulescens* (FK Mey). Obsah jednotlivých mastných kyselin byl pozorován ve třech ekotypech *Noccaea caerulescens* z Francie, Slovinska a Rakouska. V experimentu byla aplikována do půdy odlišná dávka Cd: 0, 30 a 90 mg.kg⁻¹. V nadzemní biomase ekotypů z Francie a Slovinska byl pozorován růst obsahu polynenasycených mastných kyselin se stupňující se dávkou Cd. Rozdíly u ekotypů byly zejména obsahu C16:0, C18:0, C18:2, C18:3 a C24:0 mastných kyselin. Trend změn u ekotypu z Rakouska byl nejednoznačný. Nejvyšší akumulace Cd byla stanovena u populace ze Slovinska, nevyraznější tolerance Cd byla u populace z Francie.

Klíčová slova: oxidační stres, rizikové prvky, ekotypy, hyperakumulace, *Thlaspi sp.*

ÚVOD

Kadmium (Cd) je rizikový prvek, u kterého řada studií prokázala toxický účinek na metabolismus rostlin /9/. Na buněčné úrovni v rostlinách toxicita Cd vyvolává oxidační stres zvýšeným obsahem reaktivních forem kyslíku (ROS), který způsobuje oxidační poškození membránové integrity v důsledku peroxidace lipidů /1/. Peroxidace membránových lipidů indukovaná tvorbou ROS, při níž došlo k peroxidaci polynenasycených mastných kyselin byla prokázána u rostlin rostoucích v podmínkách vysokého obsahu Cd a Cu /10, 12/. Změny v nenasyčených mastných kyselinách jsou důsledkem stimulace aktivity lipogenázy při stresu Cd /2/. Mastné kyseliny jsou esenciální složkou všech rostlinných buněk. Jejich biosyntéza je primární metabolickou cestou nezbytnou pro buněčné dělení, růst a vývoj rostlin /3/.

Rostlin má již širokou škálu plasticity v toleranci Cd. V elmirezistentní rostliny označujeme jako tzv. hyperakumulátory. Nejznámějším zástupcem je *Noccaea caerulescens* (čeleď *Brassicaceae*). Hyperakumulátory jsou schopné akumulovat v biomase více než 100 mg.kg⁻¹ Cd bez toxických projevů /13/. Příjem Cd u *Noccaea* sp. je zprostředkován vysokoafinitními přenašeči v buňkách kořenů /5/. Cd je v rostlinách přednostně ukládáno do vakuole a pidermálních buněk, dále mohou jeho významné koncentrace obsahovat i buňky mezofylu a buněčné stěny kořenů /13/.

V experimentu byl hodnocen obsah nasycených a polynenasycených mastných kyselin v biomase rostlin *Noccaea* sp. pěstovaných v půdě s rozdílnou dávkou Cd. Pozornost byla dále věnována možné rozdílné akumulaci Cd v jednotlivých ekotypech rodu *Noccaea*.

MATERIÁL A METODA

Pro nádobový pokus byly použity tři ekotypy *Noccaea caerulescens* (FK Mey): Ganges (Francie), Mežica (Slovinsko) a Redlschlag (Rakousko). Pokusná zemina byla černozem modální – lokalita S uchdol ($pH_{KCl} = 7,1 \pm 0,3$; $C_{ox} = 3,1 \pm 0,7\%$; $KVK = 225 \pm 19,5$ mmol₍₊₎.kg⁻¹; obsah Cd = $0,42 \pm 0,05$ mg.kg⁻¹). Do nádob byly odváženy 3 kg zeminy, která byla promíchána s 0,3 g N (ve formě NH₄NO₃), 0,10 g P a 0,24g K (ve formě K₂HPO₄) a přísadkou kadmia ve formě Cd(NO₃)₂.4H₂O v koncentracích 0, 30 a 90 mg.kg⁻¹. Rostliny byly předpěstovány v substrátu a přesazeny ve fázi 4 pravých listů. Vzorky pro analýzu obsahu Cd a mastných kyselin byly odebrány po 120 dnech růstu. Rostlinný materiál byl usušen při 60°C a následně zpracován pro analýzy.

Obsah Cd v rostlinné biomase po rozkladu na suché cestě /6/ byl stanoven metodou optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP – OES, Varian VistaPro, Austrálie). Mastné kyseliny byly z rostlinné biomasy (~0,2 g) extrahovány 2 ml roztoku methanolu a chloroformu (3:2, v/v) po dobu 24 hod. Dle metodiky /10/ byly v supernatantu transesterifikovány mastné kyseliny: zatavená kapilára; 294 μl metylchloridu; 1,5 hod. vodní lázeň (70 °C); neutralizace pomocí Ag₂CO₃ (~68 mg); promytí vzorku na náplňové koloně (silikagel) 1 ml hexanu. Obsah methylesterů nasycených a polynenasycených mastných kyselin byl měřen na GC-MS (Thermo Fisher Scientific DSQ II Single Quadrupole); koloně Zebron ZB-5 15 m × 0,25 mm × 0,25 μm.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Obsah Cd v nadzemní biomase jednotlivých ekotypů rodu *Noccaea* je uveden v tabulce 1, z které vyplývá, že všechny ekotypy jsou schopné akumulovat více jak 100 mg.kg⁻¹ Cd. Nejvyšší obsah Cd byl zjištěn u rostlin ze Slovinska. Rostliny z Francie a Rakouska měly srovnatelný obsah Cd a jeho obsah byl přibližně 10krát nižší než u rostlin ze Slovinska. Schopnost Cd tolerance byla však u těchto rostlin vyšší než u rostlin ze Slovinska. Obdobné chování bylo prokázáno u populace z Francie vůči populaci z Belgie /5/.

Profil jednotlivých nasycených a polynenasycených mastných kyselin je zobrazen v Tab. 2. Nejvíce zastoupeny jsou mastné kyseliny s 16 a 18 uhlíky. Tyto výsledky jsou v souladu s prací /8/, podle níž se ve většině rostlinných membrán nachází pět základních mastných kyselin: 18:1, 18:2, 18:3, 16:0 a u některých druhů 16:3; které tvoří 90 % strukturálních glycerolipidů. Tyto glycerolipidy jsou převládající formou mastných kyselin v membránách. V nadzemní biomase ekotypů Ganges a Mežica se v profilu projeví změny zejména u mastných kyselin C16:0, C18:0, C18:2, C18:3 a C24:0. Podobné výsledky zjistili /4/, kteří prokázali změny ve složení mastných kyselin v listech rajčat a salátu vlivem kontaminace půdy těžkými kovy. Tito autoři sledovali zejména poměr C18:3/(C18:0+C18:1+C18:2), který označují za tzv. lipidový biomarker. V přítomnosti těžkých kovů v půdě klesal tento poměr u obou druhů rostlin. Obdobné výsledky zjistili /7/, kdy při nejvyšší dávce Cd došlo ke snížení obsahu C18:3 a zvýšení obsahu C18:2 v listech

pokusných rostlin. Z našich výsledků však vyplývá nárůst obsahu obou výše zmíněných nenasycených mastných kyselin se zvyšující se dávkou Cd (tabulka 2).

Tab. 1: Obsah Cd v nadzemní biomase *Noccaea caerulescens*.

Dávka Cd (mg.kg ⁻¹)	Ganges (Francie)	Mežica (Slovinsko)	Redlschlag (Rakousko)
0	14 ± 0,2 ^a	29 ± 0,5 ^a	33 ± 2 ^a
30	261 ± 14 ^b	1460 ± 231 ^b	128 ± 9 ^b
90	493 ± 21 ^c	2524 ± 161 ^c	134 ± 4 ^b

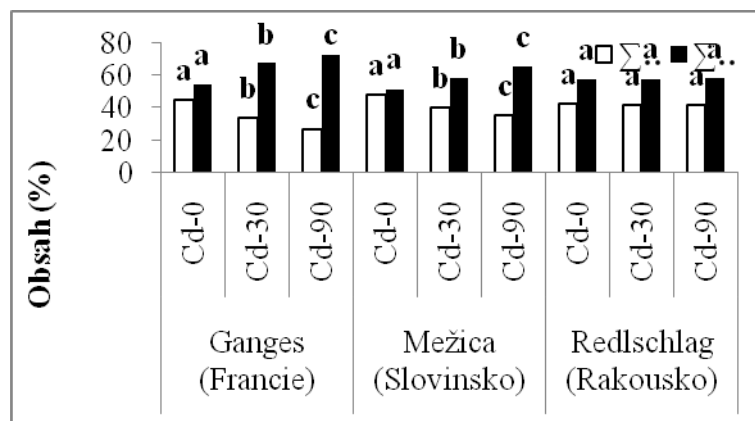
Data udávají hodnoty o obsahu ($n=3$) ± směrodatná chyba. Obsah Cd je uveden v mg.kg⁻¹ sušiny. Písmena za hodnotami obsahu udávají rozdíly na hladině významnosti $\alpha < 0.05$.

Tab. 2: Profil nasycených a polynenasycených mastných kyselin v nadzemní biomase *Noccaea caerulescens*.

Cd (mg.kg ⁻¹)	Ganges (Francie)			Mežica (Slovinsko)			Redlschlag (Rakousko)		
	0	30	90	0	30	90	0	30	90
C14:0	1,70	1,08	0,93	1,76	1,40	1,52	1,18	3,51	5,87
C16:0	32,73	21,91	19,20	22,62	23,84	24,51	25,45	26,14	26,86
C16:2	3,09	2,07	2,00	0,55	0,85	1,30	0,88	0,90	1,02
C16:3	3,00	2,00	0,59	0,40	0,86	1,15	0,50	0,73	1,00
C18:0	4,46	3,41	2,83	2,48	3,01	3,64	0,91	1,41	1,73
C18:2	24,50	32,96	39,61	25,40	27,46	31,01	28,00	28,00	28,06
C18:3	24,00	30,00	30,00	25,00	28,00	30,00	27,60	27,70	28,00
C20:0	0,29	0,30	0,22	n.d.	n.d.	n.d.	0,15	0,17	0,18
C20:2	0,08	0,38	0,20	0,27	0,57	1,27	0,22	0,15	0,13
C20:3	0,09	0,30	0,10	0,13	0,41	0,60	0,12	0,14	0,17
C22:0	0,19	0,17	0,17	5,06	2,37	0,52	0,15	0,25	0,33
C24:0	4,00	4,11	2,80	8,33	4,91	1,92	0,13	2,74	3,84
C25:0	0,42	0,10	0,15	0,34	0,21	0,12	8,11	3,61	0,13
C26:0	0,78	0,71	0,50	3,39	2,40	0,81	4,18	3,29	1,67
C28:0	0,48	0,38	0,28	3,22	2,06	1,00	1,96	1,06	0,85

Data udávají hodnoty obsahu ($n=3$) ± směrodatná chyba. Obsah nasycených a polynenasycených mastných kyselin je uveden v %, „n.d.“ hodnoty nenalezeny.

Graf 1 z obrazuje sumy nasycených a nenasycených mastných kyselin v jednotlivých ekotypích a jejich změnu při působení rozdílné dávky Cd v půdě. Se zvyšující se dávkou Cd dochází u ekotypu Ganges a Mežica ke stejnému trendu. U těchto ekotypů dochází k poklesu sumy nasycených mastných kyselin a naopak z výšení sumy polynenasycených mastných kyselin. Opačný jev, tedy pokles polynenasycených mastných kyselin vlivem Cd stresu a následně peroxidaci uvažují pro ACE / 2/. U ekotypu z Redlschlag ne má dávka Cd na sumu nasycených a polynenasycených mastných kyselin vliv. Tento ekotyp reaguje na přítomnost Cd změnou v obsahu některých profilových nasycených mastných kyselin, zejména C14:0, C24:0, C25:0 a C26:0 (tabulka 2).



Graf 1: Celkový obsah nasycených a polynenasycených mastných kyselin v nadzemní biomase rostlin *Noccaea* v závislosti na dávce Cd v půdě.

LITERATURA

- /1/ Apel, K., Hirt, H.: Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Physiology, 55, 2004: 373–399.
- /2/ Ben Youssef, N., Nouairi, I., Ben Temime, S., Taamalli, W., Zarrouk, M., Ghorbal, M.H., Ben Miled Daoud, D.: Cadmium effects on lipid metabolism of rape (*Brassica napus* L.). Comptes Rendus Biologies, 328, 2005: 745–757.
- /3/ Graham, I. A.: Seed storage oil mobilization. Annual Review of Plant Physiology, 59, 2008: 115–142.
- /4/ Le Guédard, M., Bessoule, J.J.: Détermination des effets des polluants sur la flore. Effets des sols contaminés sur la composition en acides gras foliaires de *Lactuca sativa*. Qualité des sols. Projet de norme AFNOR. Commission T95E, 2011.
- /5/ Lombi, E., Zhao, F.J., Dunham, S.J., McGrath, S.P.: Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. New Phytologist, 145, 2000: 11–20.
- /6/ Miholová, D., Mader, P., Száková, J., Slámová, A., Svato, Z.: Czechoslovak biological certified reference materials and their use in the analytical quality assurance system in a trace element laboratory. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 51, 1993: 256–260.
- /7/ Nouairi, I., Ghnaya, T., Ben Youssef, N., Zarrouk, M., Ghorbel, M. H.: Changes in content and fatty acid profiles of total lipids of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum* under cadmium stress. Journal of Plant Physiology, 163, 2006: 1198–1202.
- /8/ Ohlrogge, J., Jaworski, J.G.: Regulation of fatty acid synthesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 48, 1997: 109–136.
- /9/ Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Khrantev, A.P., Szalai, G., Janda, T.: Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 47, 2009: 224–231.
- /10/ Quartacci, M.F., Pinzino, C., Sgherri, C.L.M., Della Vecchia, F., Navari-Izzo, F.: Growth in excess copper induces changes in the lipid composition and fluidity of PSII-enriched membranes in wheat. Physiologia Plantarum, 108, 2009: 87–93.
- /11/ Stránský, K., Jursík, T.: Simple quantitative transesterification of lipids. Fett/Lipid, 98(2), 1996: 65–71.
- /12/ Tripathi, B.N., Mehta, S.K., Amar, A., Gaur, J.P.: Oxidative stress in *Scenedesmus* sp. during short- and long-term exposure to Cu^{2+} and Zn^{2+} . Chemosphere, 62, 2006: 538–544.
- /13/ Vogel-Mikuš, K., Regvar, M., Mesjasz-Przybyłowicz, J., Przybyłowicz, W.J., Simčič, J., Pelicon, P., Budnar, M.: Spatial distribution of cadmium in leaves of metal hyperaccumulating *Thlaspi praecox* using micro-PIXE. New Phytologist, 179, 2008: 712–721.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory grantu CIGA, projekt č. 20142004.

VPLYV VYBRANÝCH ŤAŽKÝCH KOVŮ NA FLUORESCENCIU CHLOROFYLU JAČMEŇA SIATEHO (HORDEUM VULGARE CV. ORBIT)

EFFECT OF SELECTED HEAVY METALS ON CHLOROPHYLL FLUORESCENCE OF BARLEY (HORDEUM VULGARE CV. ORBIT)

Peter Boleček, Anna Gogoláková, Beáta Piršelová
Prírodovedecká fakulta, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Katedra botaniky a genetiky,
Nábřežie mládeže 91, 949 11, Nitra, Slovenská republika, bpirselova@ukf.sk

Summary

Sensitivity of barley (*Hordeum vulgare* cv. Orbit) to ions of lead, cadmium and arsenic was evaluated through pot trials. The plants were grown in soil substrate, to which heavy metal ions (Pb^{2+} - 500 mg.kg⁻¹; Cd^{2+} - 300 mg.kg⁻¹ a As^{3+} - 50 mg.kg⁻¹ soil) were applied. After 15 days of growth in the contaminated soil, statistically significant decrease in the monitored parameters due to the doses of cadmium and arsenic was observed. Length of shoots and roots was decreased by 7.33 % and 57.15 % or 33.87 % and 61.58 % respectively. Values of fresh weight of shoots and roots decreased by 18.30 % and 75.61 % or 26.67 % and 95.13 % respectively. Results of measurements of chlorophyll fluorescence showed decrease in Fv/Fm values at all metal ions used in the tests, while differences between the three development stages of leaves (the youngest was the most sensitive) were observed.

Key words: chlorophyll fluorescence, cadmium, lead, arsenic, barley

Souhrn

Citlivosť jačmeňa siateho (*Hordeum vulgare* cv. Orbit) na ióny olova, kadmia a arzenu bola hodnotená nádobovým pokusom. Rastliny boli pestované v pôdnom substráte, do ktorého boli aplikované ióny ťažkých kovov (Pb^{2+} – 500 mg.kg⁻¹; Cd^{2+} – 300 mg.kg⁻¹ a As^{3+} – 50 mg.kg⁻¹ pôdneho substrátu). Po 15 dňoch rastu v kontaminovanej pôde bol zaznamenaný pokles hodnôt sledovaných parametrov vplyvom dávky kadmia a arzenu. V prípade dĺžky výhonkov a koreňov to bol pokles o 7,33 % a 57,15 % resp. 33,87 % a 61,58 %. Hodnoty čerstvej hmotnosti výhonkov a koreňov sa znížili o 18,30 % a 75,61 % resp. 26,67 % a 95,13 %. Výsledkom meraní fluorescencie chlorofylu bol pokles hodnôt Fv/Fm v prípade všetkých testovaných iónov kovov, pričom boli zaznamenané rozdiely v rámci troch vývinových štádií listov (najmladší reagoval najcitlivejšie).

Kľúčové slová: fluorescencia chlorofylu, kadmium, olovo, arzén, jačmeň

ÚVOD

Problematika z nečistenia životného prostredia je stále aktuálna, pričom medzi najsledovanejšie znečisťovatele patria ťažké kovy. Popri fyzikálno-chemických metódach využívaných na odstraňovanie ťažkých kovov z pôdy a ovzdušia sa čoraz viac pozornosti venuje hľadaniu tolerantných odrôd rastlín pre bezpečné pestovanie, či už z hľadiska ich využitia pre účely fytofarmácie, alebo z hľadiska potravinového reťazca. Hľadanie tolerantných odrôd sa obvyčajne opiera o prvotné merania bežných rastových parametrov (dĺžka a hmotnosť koreňa a výhonkov) a následne o merania iných, často citlivejších

parametrov. Meranie fluorescencie chlorofylu patrí medzi citlivé a neinvazívne metódy hodnotenia citlivosti rastlín na rôzne stresové faktory [1, 2]. Spomedzi niekoľkých parametrov merania fluorescencie chlorofylu patrí hodnotenie maximálneho kvantového výťažku fluorescencie medzi najpoužívanejšie parametre v rastlinnej fyziológii a určuje maximálnu fotochemickú kapacitu fotosystému II. Počíta sa ako podiel variabilnej fluorescencie (Fv) ku maximálnej fluorescencii (Fm)/3/.

Cieľom našich analýz bolo charakterizovať odrodu jačmeňa siateho (*Hordeum vulgare* cv. Orbit) z hľadiska tolerance voči iónom olova, kadmia a arzénu na základe bežných ukazovateľov rastu (čerstvá hmotnosť, dĺžka koreňov a výhonkov) a tiež na základe zmien v parametroch fluorescencie chlorofylu (Fv/Fm) asimilačných listov. Ďalším cieľom analýz bolo poukázať na reakciu listov rôznych vývinových štádií na ióny testovaných kovov.

MATERIÁL A METÓDY

Pokus bol koncipovaný ako nádobový. Semená jačmeňa siateho (*Hordeum vulgare* cv. Orbit) boli zasiať do zmesi rašelinovej zeminy BORA (pH 7,5) a perlitu v pomere 4:1. Nádobový pokus bol uskutočnený v klimaboxe, kde boli zabezpečené konštantné podmienky pokusu (teplota 20 °C, vlhkosť vzduchu 60–70%, svetelná perióda 12 hod. svetlo/12 hod. tma, intenzita žiarenia maximálne 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Rastliny boli pestované do štádia vytvorenia prvých asimilačných listov. Následne boli zaliate roztokmi: (Pb^{2+} – 500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; Cd^{2+} – 300 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a As^{3+} – 50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ pôdneho substrátu). Ťažké kovy boli aplikované vo forme roztokov $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ a As_2O_3 . Kontrolné varianty boli zaliate destilovanou vodou. Po 15 dňoch rastu v kontaminovanej pôde bola odmeraná dĺžka koreňov a výhonkov a taktiež čerstvá hmotnosť kontrolných i stresovaných rastlín. Listy troch vývinových štádií označené 1–3 (1. list – najmladší, 3. list najstarší) boli použité na meranie fluorescencie chlorofylu, ktoré bolo uskutočnené pomocou kinetickej fluorescenčnej kamery GFPCam (Photon Systems Instruments, Brno, Česká republika). Merania fluorescencie chlorofylu boli opakované minimálne 5-krát vo všetkých variantoch experimentu. Po svetelnej adaptácii rastlinného materiálu počas 5 minút boli prístrojom zaznamenávané hodnoty Fv/Fm (maximálny kvantový výťažok fluorescencie chlorofylu).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Namerané hodnoty fyziologických parametrov stresovaných rastlín jačmeňa uvádza tabuľka 1. Štatisticky významný pokles v hodnotách parametrov sa zaznamenali po aplikácii kadmia a arzénu. V prípade dĺžky výhonkov a koreňov to bol pokles o 7,33 % a 57,15 % resp. 33,87 % a 61,58 %. Hodnoty čerstvej hmotnosti výhonkov a koreňov sa znížili o 18,30 % a 75,61 % resp. 26,67 % a 95,13 %. Vplyvom dávky olova došlo k miernemu poklesu dĺžky výhonkov (o 4,12 %) a čerstvej hmotnosti koreňov (6,67 %). V dĺžke koreňov a čerstvej hmotnosti výhonkov sme zaznamenali mierny nárast hodnôt (o 2,51 % a 2,44 %).

Toleranciu testovanej odrody jačmeňa voči iónom ťažkých kovov sme testovali aj meraním maximálneho kvantového výťažku fluorescencie chlorofylu a (Fv/Fm), pričom sme zároveň hodnotili reakciu troch vývinových štádií listov. Vplyvom ťažkých kovov došlo k štatisticky významnému poklesu hodnôt Fv/Fm s výnimkou 2. listu vystaveného iónom Cd^{2+} (Graf 1). Najcitlivejšie reagovali na ióny kovov najmladšie listy (štádium 3), ktoré sa vplyvom arzénu nevyvinuli.

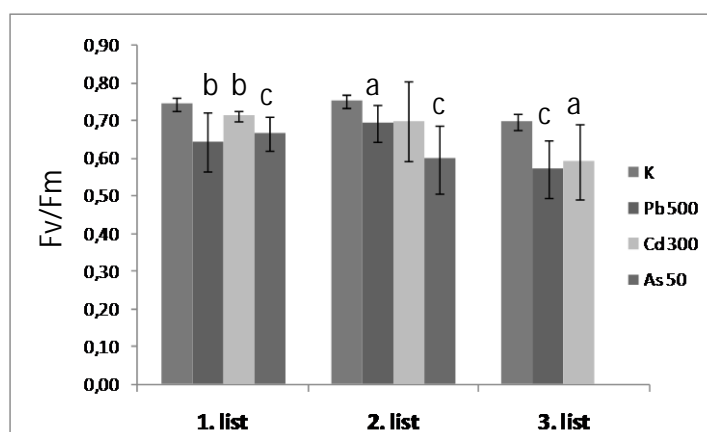
V danom nastavení experimentu bolo meranie fluorescencie chlorofylu významné najmä v prípade rastlín vystavených iónom olova, nakoľko testovanie tolerance na základe rastových parametrov sa ukázalo byť nepostačujúce. Na vhodnosť danej metódy z hľadiska testovania tolerance rastlín na rôzne stresové faktory poukázali viacerí autori [1–3]. Význam danej metódy spočíva najmä v tom, že dokáže odhaliť zmeny na úrovni fotosystému II skôr,

než sa tieto zmeny prejavia na raste rastliny. Meraním hodnôt F_v/F_m sme zároveň poukázali na rôznu citlivosť fotosystému PII jednotlivých vývinových štádií listov na testované dávky ťažkých kovov v súlade s výsledkami a útorov /5, 6/, ktoré poukázali na rôznu reakciu jednotlivých vývinových štádií listov na stresové faktory prostredia. Hodnotenie tolerancie danej odrody jačmeňa k iónom daných kovov však predpokladá komplexnejší experimentálny prístup založený na molekularno-biologických analýzách, ktoré môžu odhaliť mechanizmy tolerancie danej odrody na ióny ťažkých kovov.

Tab.1: Vplyv olova (Pb), kadmia (Cd) a arzénu (As) na vybrané rastové parametre jačmeňa siateho.

	Dĺžka (cm)		Čerstvá hmotnosť (g)	
	Výhonky	Korene	Výhonky	Korene
K	35,47 ± 2,54	33,86 ± 4,32	0,82 ± 0,19	0,15 ± 0,04
Pb 500	34,01 ± 3,74	34,71 ± 4,49	0,84 ± 0,21	0,14 ± 0,03
Cd 300	32,87 ± 2,08a	22,39 ± 2,93c	0,67 ± 0,07 a	0,11 ± 0,01b
As 50	15,20 ± 2,17c	13,01 ± 2,79c	0,20 ± 0,04c	0,01 ± 0,00c

Údaje z odpovedajú pr iemeru ± s merodajná odc hýlka. Dávky ťažkých kovov sú uvedené v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ pôdneho substrátu. Štatisticky významné rozdiely hodnôt oproti kontrole pr i hladinách p: a) $p < 0,05$; b) $p < 0,01$; c) $p < 0,001$.



Graf 1. Vplyv ťažkých kovov na hodnoty maximálneho kvantového výťažku fluorescencie chlorofylu (F_v/F_m). Štatisticky významné rozdiely hodnôt oproti kontrole: a) $p < 0,05$; b) $p < 0,01$; c) $p < 0,001$. Listy 3. vývinového štádia v prípade aplikovanej dávky arzénu neboli vyvinuté (údaje neboli hodnotené).

LITERATÚRA

- /1/ Percival, G. C.: The use of chlorophyll fluorescence to identify chemical and environmental stress in leaf tissue of three oak (*Quercus*) species. *Journal of Arboriculture*, 31, 2005: 5–27.
- /2/ Baker, N. R., Rosenqvist, E.: Applications of chlorophyll fluorescence in crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2004: 1607–1621.
- /3/ van Kooten, O., Snel, J. F. H.: The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, 25, 1990: 147–150.

- /4/ Lichtenthaler, H.K., Joseph, A.M.: Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. Trends in Plant Science, 2, 1997: 316–320.
- /5/ Dobroviczká, T., Piršelová, B., Mészáros, P., Blehová, A., Libantová, J., Moravčíková, J., Matušíková, I.: Effects of cadmium and arsenic ions on content of photosynthetic pigments in the leaves of *Glycine max* (L.) Merrill. Pakistan Journal of Botany, 45, 2013: 105–110.
- /6/ Fluch, S., O lmo, C.C., Ta uber, S., S tierschneider, M., K opecky, D., R eichenauer, T .G.: Transcriptomic changes in wind-exposed poplar leaves are dependent on developmental stage. Planta, 228: 757–764.

Pod'akovanie

Práca bola podporená výskumnými zámermi VEGA 1/0509/12, KEGA 044UKF-4/2012 a výskumným zámerom Európskeho spoločenstva v rámci projektu: Vybudovanie výskumného centra „AgroBioTech“, projekt číslo 26220220180.

STRESOVÉ FAKTORY PRI PESTOVANÍ JAČMEŇA SIATEHO JARNÉHO

STRESS FACTORS DURING THE CULTIVATION OF SPRING BARLEY

Eva Candráková

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FAPZ, katedra rastlinnej výroby, Tr. A. Hlinku 2, 949
76 Nitra, Slovenská republika, e-mail: Eva.Candrakova@uniag.sk

Summary

Experiment with spring barley was founded in 2011 and 2012 at the warm climate locality. There were studied the impact of different soil tillage systems (conventional, reduced and minimalization), application of mineral fertilizers and post-harvest residues (grain maize) on the spring barley yield under the influence of abiotic and biotic factors. Lack of moisture and higher average temperatures in the year 2012 statistically significantly decreased barley grain yield by 0.71 t ha^{-1} compared to the year 2011 (3.80 t ha^{-1}). Significantly higher values were obtained after shallow tillage (3.66 t ha^{-1}) and minimal soil tillage (3.48 t ha^{-1}). Soil cultivation by tillage has proved as a less appropriate (3.19 t ha^{-1}). Spring barley yield (3.94 t ha^{-1}) was affected highly significantly by application of mineral fertilizers and post-harvest residues. Production process and the resulting yield is dependent on the temperature and the moisture conditions of year during the growing season.

Key words: spring barley, soil tillage, fertilization, crop residues, yield

Súhrn

Pokus s jačmeňom siatym jarným bol založený v roku 2011 a 2012 na lokalite v teplej klimatickej oblasti. Skúmaný bol vplyv spôsobov obrárania pôdy (konvenčný, redukovaný a minimalizačný) a hnojenia priemyselnými hnojivami a pozberovými zvyškami predplodiny (kukurica na zrno) na úrodu zrna jačmeňa siateho jarného za pôsobenia abiotických a biotických faktorov. Nedostatok vlhky a vyššie priemerné teploty v roku 2012 štatisticky preukazne znížili úrodu zrna jačmeňa o $0,71 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v porovnaní s rokom 2011 ($3,80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Vysoko preukazné hodnoty boli dosiahnuté po plytkej orbe ($3,66 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) a minimálnom spôsobe príprave pôdy ($3,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Obrábanie pôdy orbou sa prejavilo ako najmenej vhodné ($3,19 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Aplikácia priemyselných hnojív a pozberových zvyškov predplodiny pôsobila na úrodu v vysoko preukazne ($3,94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Produkčný proces a výsledná úroda je závislá od teplotných a vlhkových podmienok ročníka v priebehu vegetačného obdobia plodiny.

Kľúčové slová: jačmeň siaty jarný, obrábanie pôdy, hnojenie, pozberové zvyšky, úroda

ÚVOD

Pestovateľské plochy jačmeňa siateho jarného na Slovensku v ostatných rokoch mierne poklesli. Pritom viac ako 82 % domácej produkcie využívajú pivovary na výrobu sladu. Slad je momentálne najvýznamnejšou exportnou komoditou a gropotravinárskeho priemyslu. Jeho výroba si udržiava stabilnú pozíciu.

Heineken Slovensko Sladovne a.s. - kľúčové parametre sladovníckeho jačmeňa: vlhkosť max. 14 %, obsah bielkovín 9,5–11,5 %, podiel zrna nad sitom 2,5 mm min. 90 %, klíčivosť

min. 95 %, odrodová čistota min. 95 %. V roku 2014 budú vykupovať odrody, medzi ktorými je aj Kangoo. Pre zlepšenie kvality je potrebné vysievať certifikované osivo.

V roku 2011 sa jačmeň v SR zberal z plochy 135,7 tis ha s priemernou úrodou zrna 3,87 t.ha⁻¹ a v roku 2012 bola zberová plocha 148 tis. ha s úrodou zrna 3,18 t.ha⁻¹ /3/. Zo spôsobov obrábania pôd y bol i dosiahnuté štatisticky v ysoke pr eukazné hodnot y po pl ytkej or be a minimálnom s pôsobe príprave pôd y (tab. 3) . O brábanie pôd y or bou s a pr ejavilo a ko najmenej vhodné (3,19 t.ha⁻¹).

MATERIÁL A METÓDY

Poľný polyfaktorový pokus bol založený na Výskumno-experimentálnej báze Fakulty agrobiológie a potravinových zdrojov SPU v Nitre nachádzajúcej sa v lokalite Dolná Malanta, ktorá sa nachádza východne od mesta Nitry v nadmorskej výške 170 m . Územie spadá do teplého, veľmi suchého, nížinného klimatického regiónu. Priemerný ročný úhrn zrážok je 540 mm a priemerná ročná teplota je 9,6 °C. Zeminy z orníc na lokalite sú prachovito-hlinité s objemovou hmotnosťou 1500–1680 kg.m⁻³ /9/.

V poľnom pokuse sa v rokoch 2011–2012 pestoval jačmeň siaty jarný odroda Kangoo.

Pokus bol založený metódou dlhých pásov s kolmo delenými blokmi. Veľkosť pokusnej plochy variantu bola 20 m² (10 × 2) s tromi opakovaniami.

V práci boli skúmané tri spôsoby obrábania pôdy:

O₁ – konvenčné obrábanie pôdy (orba do hĺbky 0,20–0,25 m),

O₂ – redukované obrábanie pôdy (orba do hĺbky 0,15–0,20 m),

O₃ – minimálne obrábanie pôdy (tanierovanie do hĺbky 0,10–0,12 m).

Pri každom spôsobe obrábania pôdy boli tri varianty hnojenia náhodne usporiadané s cieľom eliminovať heterogenitu pôdy:

0 – kontrola bez hnojenia,

H1 – racionálne hnojenie priemyselnými hnojivami,

H2 – racionálne hnojenie priemyselnými hnojivami a zapravenie rastlinných zvyškov.

Dávky priemyselných hnojív boli určené na základe analyticky zisteného obsahu prístupných živín v pôde na plánovanú úrodu zrna 5 t.ha⁻¹. Predplodinou pre jačmeň siaty bola kukurica na zrno, ktorej slama na variante H2 bola zapravená do pôdy.

Odroda jačmeňa siateho jarného Kangoo je (2009) je stredne skorá odroda, vyššieho typu (0,75 m), s dobrou odolnosťou proti poľehaniu.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

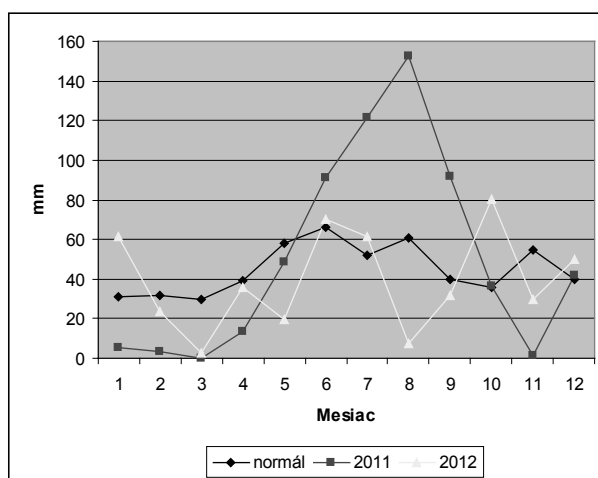
Produkčný proces poľných plodín je ovplyvnený abiotickými a biotickými faktormi. Významné postavenie má množstvo vlhky a teplota, hlavne v priebehu vegetačného obdobia plodiny. V roku 2011, v porovnaní s normálom, chýbalo v mesiaci apríl 25,8 mm vody a v máji 9,6 mm. V júni napršalo o 25,1 mm viac.

Menej príznačné vlhkové podmienky boli v jarnom období v roku 2012 (Obr. 1). V mesiaci marec napršalo iba 2,8 mm vody, mesiac apríl bol v normálnych hodnotách (36,1 mm) a v máji chýbalo 38,4 mm vody. V oboch rokoch boli teploty v jarných mesiacoch vyššie ako normálne (Obr. 2).

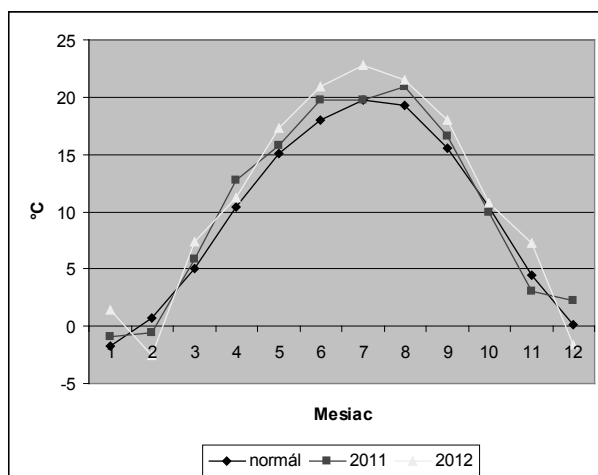
Jačmeň siaty jarný patrí medzi rastliny s typom fotosyntézy C₃, pre ktoré sú spoločné niektoré znaky, napr. teplotné minimum sa pohybuje okolo 0 °C, transpiračný koeficient je 450–900 g vody na 1g sušiny /8/. Vzťahy medzi množstvom vody v rastline a v okolitom prostredí, vrátane pôdy, sú zložité a nie je možné zaviesť jednoduché kritérium, podľa ktorého by bolo možné objektívne hodnotiť, ako veľkému stresu z nedostatku vody je rastlina vystavená.

Kombinácia nedostatku vl ahy a vyšších teplôt sa nepriaznivo odrážala na úrode zrna jačmeňa siateho jarného, ktorá bola v roku 2012 nižšia o 0,71 t.ha⁻¹ ako v roku 2011 (3,80 t.ha⁻¹). Výsledky sú uvedené v Tab. 2.

Z hľadiska variantov hnojenia, najnižšia úroda bola na nehnojenom variante (2,81 t.ha⁻¹) a preukázane najvyššia po zapravení do pôdy priemerných hnojív a pozberových zvyškov predplodiny (3,94 t.ha⁻¹). Dôležitou živinou v tvorbe úrody je dusík, ktorý bol dodaný v priemerných hnojivách a získal sa aj rozkladom pozberových zvyškov predplodiny. Ako uvádza [5], pri nedostatku dusíka sa výrazne znižuje intenzita delenia buniek a tvorba chlorofylu, čo sa prejaví v spomalení rastu a zmešovaní rozmerov jednotlivých orgánov. Deficit dusíka sa v poľných podmienkach prejavuje až po prechode rastlín z výživy zo semena na výživu prostredníctvom koreňov. Dusík je základnou zložkou buniek a tvorí chlorofyl esenciálne potrebný pre fotosyntézu [1].



Graf 1: Vlahové podmienky v rokoch 2011 a 2012



Graf 2: Teplotné podmienky v rokoch 2011 a 2012

Jačmeň siaty jarný patrí medzi rastliny s typom fotosyntézy C₃, pre ktoré sú spoločné niektoré znaky, napr. teplotné minimum sa pohybuje okolo 0 °C, transpiračný koeficient je 450–900 g vody na 1 g sušiny [4]. Vzťahy medzi množstvom vody v rastline a v okolitom prostredí, vrátane pôdy, sú zložité a nie je možné zaviesť jednoduché kritérium, podľa ktorého by bolo možné objektívne hodnotiť, ako veľkému stresu z nedostatku vody je rastlina vystavená.

Viacerí autori /6, 7, 10/ potvrdili citlivosť jačmeňa na výživu a hnojenie v dôsledku menej v yvinutého a plytšie sa nachádzajúceho koreňového systému a krátkeho obdobi a výživy, počas ktorého musí prijať pomerne veľké množstvo živín. Ich nedostatok pôsobí na formovanie prvkov úrodnosti, čo sa prejavuje na úrode zrna. Dôkazom je najnižšia úroda zrna jačmeňa siateho jarného, ktorá bola v obidvoch rokoch na nehnojenom kontrolnom variante (2,81 t .ha⁻¹). M y s me aplikovali dus ík v priebehu vegetačného obdobia jačmeňa siateho jarného v rastovej fáze odnožovania na začiatku (BBCH 21) vo f orme l iadku a mónno vápenatého, ako odporúča /2/.

Zo spôsobov obrábania pôdy boli dosiahnuté štatisticky vysoko preukazné hodnoty po plytkej orbe a minimálnom spôsobe príprave pôdy (tab. 2). Obrábanie pôdy orbou sa prejavilo ako najmenej vhodné (3,19 t.ha⁻¹).

Tab. 1: Úroda zrna jačmeňa siateho jarného v roku 2011 a 2012

Spôsob obrábania	Varianty hnojenia	Úroda zrna (t.ha ⁻¹)		Priemer	% na kontrolu
		2011	2012		
O1	H1	2,24	2,96	2,60	100
	H2	3,29	3,11	3,20	123,1
	H3	4,28	3,26	3,77	145,0
	Priemer	3,27	3,11	3,19	122,7
O2	H1	2,69	2,95	2,82	100
	H2	4,76	3,30	4,03	142,9
	H3	4,92	3,32	4,12	146,0
	Priemer	4,13	3,19	3,66	129,7
O3	H1	3,29	2,70	3,00	100
	H2	3,89	3,11	3,50	116,7
	H3	4,79	3,06	3,93	131,0
	Priemer	3,99	2,96	3,48	116,0
Varianty hnojenia	H1	2,74	2,87	2,81	100
	H2	3,98	3,17	3,57	127,0
	H3	4,66	3,21	3,94	140,2
Celkový priemer		3,80	3,09	3,45	122,8

Tab. 2: Vplyv faktorov na úrodu zrna jačmeňa siateho jarného odrody Kangoo v rokoch 2011 a 2012

Faktor	Rok		Obrábanie		Hnojenie	
	P 0,05 = 0,1111		P 0,05 = 0,1836		P 0,05 = 0,1361	
Úroda (t.ha ⁻¹)	2011	3,80b	O1	3,19a	H1	2,81a
	2012	3,09a	O2	3,66b	H2	3,57b
			O3	3,48b	H3	3,94c

Rozdielne písmená nasledujúce v rovnakom stĺpci poukazujú na hladiny významnosti rozdielov pri $p < 0.05$;

LITERATÚRA

- /1/ Bielek, P.: Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Bratislava, 1998: 255. ISBN 80-85361-44-2.
- /2/ Fecenko, J., Ložek, O.: Výživa a hnojenie poľných plodín. Nitra, SPU, 2000: 452. ISBN 80-7137-777-5.
- /3/ Jamborová, M.: OBILNINY – Situačná a výhľadová správa k 31. 12. 2012, VÚEPP Bratislava, XX (1), 2013. ISSN 1338-483X.
- /4/ Kostrej, A. a i.: Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín. SPU v Nitre 1998: 187. ISBN 80-7137-528-4.
- /5/ Kováčik P.: Výživa a úroveň hnojenia rastlín. ÚVTIP – NOI Bratislava, 2007: 96. ISBN 978-80-89088-59-1.

- /6/ Kubinec, S., Kováč, K.: Progresívne technológie pestovania jarného jačmeňa. Výskumný ústav rastlinnej výroby, Piešťany, 1998: 82. ISBN 80-88720-03-6.
- /7/ Ložek, O.: Optimálne hnojenie je ekonomické aj ekologické. In *Agrochémia*, 41 (1), 2001: 11–16.
- /8/ Procházka, S. a i.: *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha, 1998: 484.
- /9/ Tobiášová, Erika, Šimanský, Vladimír. 2009. Kvantifikácia pôdných vlastností a ich vzájomných vzťahov ovplyvnených antropickou činnosťou. 1. vyd. SPU, Nitra: 114. ISBN 978-80-552-0196-2.
- /10/ Zimolka, J. et al.: *Ječmen – formy a úžitkové smery v České republice*. Profi Press, Praha, 2006: 199. ISBN 80-86726-18-5.

POĎAKOVANIE

Projekt VEGA č. 1/0816/11 „Produkčný proces poľných plodín pri rôznych systémoch obrábania pôdy, aplikácie priemyselných hnojív a zvyškov rastlín s ohľadom na zachovanie a zvyšovanie úrodnosti pôdy“

KOVY AKO STRESOVÝ FAKTOR PRI HODNOTENÍ FYTOTOXICITY

METALS AS STRESS FACTOR USED FOR PHYTOTOXICITY ASSESSMENT

Agáta Fargašová

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra environmentálnej ekológie,
Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika, fargasova@fns.uniba.sk

Summary

Cr(III), Cr(VI) and Ni(II) inhibitory effects on some physiological parameters and metal accumulation in *Sinapis alba* seedlings were evaluated during experiments. Cr and Ni significantly reduced root and shoot growth as well as biomass production and water uptake mainly by the roots. However, water content in the shoots was not reduced significantly, it indicates that Cr and Ni inhibit water absorption by the roots but not water translocation through the plant. As the least toxic metal Cr(III) was determined. All metals were accumulated in preference in the roots and its transfer to shoots was low.

Key words: chromium, nickel, phytotoxicity, accumulation, Sinapis alba

Súhrn

V práci sa hodnotil inhibičný účinok Cr(III), Cr(VI) a Ni(II) na vybrané fyziologické parametre a akumulácia týchto kovov v semenáčikoch *Sinapis alba*. Cr a Ni preukázane inhibovali ako rast koreňoch a výhonkov tak aj produkciu biomasy a príjem vody hlavne koreňmi. Keďže obsah vody vo výhonkoch sa preukázane neznižoval, výsledky poukazujú na inhibíciu absorpcie vody koreňmi, ale nie na obmedzenie jej translokácie do nadzemných častí rastlín. Ako najmenej toxický sa v priebehu testov ukázal Cr(III). Všetky testované kovy sa prednostne akumulovali v koreňoch a ich transfer do výhonkov bol obmedzený.

Kľúčové slová: chróm, nikel, fytotoxicita, akumulácia, Sinapis alba

ÚVOD

Ekotoxikologické testy zohrávajú významnú úlohu pri hodnotení znečistenia životného prostredia a kvality ekosystémov /1/. Možnosť využitia vegetácie na hodnotenie toxicity alebo stimulačných účinkov pri nízkych dávkach látky je v literatúre dobre podchytená /2, 3/. Z hľadiska hodnotenia environmentálnych rizík sa pre testy využívajú hlavne cievnaté rastliny, ktorých výhoda spočíva v schopnosti rýchlej reakcie na zmeny prostredia a poretos sledovaním ich habitátu a produkčných faktorov dá veľmi dobre rozpoznať a predpovedať prítomnosť stresorov. Najčastejšie sledovanými parametrami pri hodnotení fytotoxicity býva inhibícia rastu, produkcia biomasy, fotosyntetických pigmentov a stresových biolokálnych zmeny absorpcie a translokácie vody a akumulácia polutantov v rôznych častiach rastlín /2, 4/. Všetky uvádzané parametre sú vhodné a vysoko preukazné pri hodnotení účinkov kovov a stanovenie niektorých z nich je metodicky zahrnuté aj do medzinárodných noriem a návrhov na hodnotenie ekotoxicity a rizík v uplynulých rokoch z kontaminácie prostredia antropogénnou činnosťou.

Cr a Ni patria v súčasnosti medzi významné polutanty ako terestrických tak aj vodných ekosystémov. Vplyv kontaminácie Cr na fyziológiu a vitalitu rastlín závisí od jeho špeciácie,

ktorá významne ovplyvňuje jeho mobilitu, príjem a toxicitu pre rastlinné systémy /5/. Kým Cr sa považuje pre rastliny za esenciálny prvok potrebný pre ich výživu /6/, Ni je klasifikovaný ako prvok stopový /7/ a hoci je v prostredí vždy prítomný, objavuje sa len vo veľmi malých množstvách.

MATERIÁL A METÓDA

Ako biologický materiál sa v testoch používali semenáčky horčice bielej (*Sinapis alba* L.) pestované podľa metodiky /4/. Rastovým médiom bola odstáta vodovodná voda (80 mg.l⁻¹ Ca, 27 mg.l⁻¹ Mg) a testovanými kovmi boli Ni(II) (NiCl₂.6H₂O), Cr(III) (Cr(NO₃)₃.9H₂O) a Cr(VI) (CrCO₃) (Lachema, Brno, Česká republika). Sledovanými parametrami boli inhibícia rastu koreňa a výhonku, produkcia biomasy, obsah vody v jednotlivých častiach rastliny a jej translokácia a akumulácia a translokácia kovov v rastlinách. Vo všetkých testoch, s výnimkou inhibície rastu koreňov a výhonkov, ktorých dĺžka bola 72 h v tme, bola zachovaná štandardná doba testov 10 dní (3 dni v tme + 7 dní v dennom režime osvetlenia). Rastlinný materiál sa sušil pri teplote 80 °C a obsah vody v jednotlivých častiach rastlín sa stanovoval pomocou Drazic a Mihailovic rovnice /8/.

Obsah kovov v rastlinách sa stanovoval pomocou ET-AAS (Cr) a F-AAS (Ni) (AAS; Varian, spectr. AA, Australia, GTA 110, Zeeman 220 korekcia pozadia) /4/ a na základe ich obsahu v jednotlivých častiach rastlín sa potom vypočítaval bioakumulačný (BAF) /9/ a translokačný faktor (TF) /10/.

Všetky fyziologické parametre (produkcia biomasy (DM, FM), obsah (WC) a translokácia vody, a akumulácia a translokácia kovov) sa stanovovali pre IC₅₀ hodnotu, ktorá vyjadrovala 50 % inhibíciu rastu koreňa. Inhibícia rastu koreňa aj výhonku sa stanovovala probitovou analýzou a na výpočet koeficientu spoľahlivosti (CI) sa použila regresná analýza. Všetky testy sa robili v troch paralelných opakovaniach so zohľadnením kontroly a vyhodnocovali sa štatisticky Studentovým t-testom.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Jedným z prvých a najčastejšie hodnotených parametrov pri sledovaní fytotoxicity je inhibícia rastu koreňa a výhonku. Na základe sledovania týchto parametrov a vyjadrenia intenzity účinku testovaných kovov pomocou IC₅₀ hodnoty (Tab. 1) sa dajú zostaviť nasledovné inhibičné rady: pre rast koreňa: Cr(VI) ≥ Ni(II) >> Cr(III); pre rast výhonku: Ni(II) > Cr(VI) >> Cr(III). V literatúre sa uvádza, že Cr aj Ni sú pre rastliny vysoko toxické a silno inhibujú ich rast /11/, pričom korene sú na tieto kovy citlivejšie ako výhonky, čo je v zhode s uvedenými zisteniami. Pre *S. alba* sa v literatúre uvádza, že účinok Cr(VI) sa vyrovnal účinku Hg a bol silnejší ako účinok Cd a Pb /11/. Naše výsledky potvrdzujú aj zistenia /11/, že účinok Ni bol na rast koreňa slabší ako účinok Cr (VI).

Inhibícia rastu sa veľmi výrazne prejavuje aj do produkcie biomasy a obsahu vody v rastlinách (Tab. 1). Kým prítomnosť testovaných kovov výrazne znižovala produkciu čerstvej biomasy (FM) ako v koreňoch tak aj výhonkoch, produkcia sušiny (DM) sa znižovala len v koreňoch, pričom medzi účinkami jednotlivých kovov sa nepozorovali významné rozdiely. Produkcia sušiny v nadzemných častiach sa v prítomnosti kovov zvyšovala a maximálny stimulačný účinok sa pozoroval pri aplikácii Cr(III) (133,3 %). V literatúre sa uvádza, že celkový nepriaznivý účinok Cr a Ni na rast a vývin rastlín môže byť výsledkom poruchy príjmu minerálnych živín a vody, čo sa prejavuje hlavne v nadzemných častiach rastlín ich vädnutím /12/. O presných účinkoch Cr a Ni na pomer vody v rastlinách sa objavuje len málo informácií. Pomer sušiny a čerstvej biomasy (Tab. 1) bol pri koreňoch takmer 2-krát nižší ako pri výhonkoch.

V porovnaní s kontrolou sa obsah vody, hlavne v koreňoch, rapídne znižoval (Tab. 1).

Keďže obsah vody vo výhonkoch sa vzhľadom ku kontrole preukazne neznižil, dá sa konštatovať, že Cr a Ni inhibovali predovšetkým absorpciu vody koreňmi ale nie jej translokáciu do nadzemných častí rastlín, čo sa zhoduje s konštatovaniami, že Cr v nadbytku znižuje vodný potenciál a transpiračnú rýchlosť rastlín, ale zvyšuje relatívny obsah vody v rastlinách /13/.

Tab. 1: Koncentračné a percentuálne vyjadrenie inhibičného účinku Cr(III), Cr(VI) a Ni(II) na rast, produkciu biomasy a obsah vody v koreňoch a výhonkoch a akumulácia a translokácia týchto kovov v semenáčikoch *Sinapis alba*

Parameter	Cr(III)		Cr(VI)		Ni(II)		Kontr.	
	K	V	K	V	K	V	K	V
IC ₅₀ ± 95 % CI (mg.l ⁻¹)	115,4 (98,7-132,1)	136,2 (109,7-162,7)	9,8 (8,4-10,2)	20,9 (19,7-22,1)	12,5 (12,1-13,5)	16,6 (15,7-17,4)		
FM (%)	21,8	84,3	32,9	69,6	25,1	66,6	100	100
DM (%)	42,9	133,3	42,9	112,1	42,8	121,2	100	100
WC (g.g ⁻¹ DM)	16,1	15,3	23,0	8,5	16,8	11,8	33,8	16,5
DM/FM (%)	5,9	9,0	4,2	9,3	5,6	10,5	2,88	5,73
Konc. kovu	26,3	8,3	3,7	0,8	2,2	1,7		
BAF	0,3		0,5		0,3			
TF	0,3		0,2		0,8			

IC₅₀ – inhibičná koncentrácia s 50 % účinkom, CI – koeficient spoľahlivosti, FM – čerstvá biomasa, DM – sušina, WC – obsah vody, BAF – bioakumulačný faktor, TF – translokačný faktor, Kontr. – kontrola; obsah kovov je udávaný po odpočítaní obsahu v kontrole

Bioakumulácia Cr a Ni v koreňoch a nadzemných častiach rastlín spolu s bioakumulačným (BAF) a translokačným faktorom (TF) sú uvedené v Tab. 1. Kým akumulácia Cr bola vyššia v koreňoch a jeho transfer do nadzemných častí bol nízky, transport Ni do výhonkov bol najmenej dvakrát intenzívnejší ako pri Cr. Keďže hodnoty pre TF sú menšie ako 1, poukazujú pri oboch kovoch na ich obmedzený transport z koreňov do výhonkov, čo potvrdzuje závery, že Cr, najmä Cr(VI), sa v rastlinách transportuje len veľmi pomaly /14/. Zvýšená akumulácia Cr v koreňoch *S. alba* podporuje závery o jeho imobilizácii vo vakuolách koreňových buniek /2/. Uvádzané výsledky sa zhodujú s konštatovaniami /15/, že toxický účinok Cr závisí predovšetkým od jeho mocenstva, ktoré ovplyvňuje príjem, translokáciu a akumuláciu tohto kovu v rastlinách. Vyššiu akumuláciu Cr(VI), ktorú pre poľnohospodárske plodiny uvádza /16/ sme pri *S. alba* nepotvrdili.

Ni je do nadzemných častí rastlín transportovaný buď atómami kyslíka alebo ako kovový komplex s organickými kyselinami alebo ako hydratovaný kation /17/. V rastlinách má afinitu k Fe, Zn a Mg, ktoré môže nahrádzať a interferovať s ich metabolizmom. V literatúre sa uvádza jeho vyššia akumulácia ako vo výhonkoch /18/ tak aj v koreňoch /19/ a nechýbajú ani práce uvádzajúce jeho rovnomerné ukládanie v oboch častiach rastlín /3/. Naše výsledky potvrdili, že hoci bol translokačný faktor (TF) Ni niekoľkokrát vyšší ako TF chrómu, oboja kovy sa prednostne akumulovali v koreňoch. Ich translokácia do nadzemných častí rastlín bola nízka.

LITERATÚRA

- /1/ Volpi G, Girardini, A., Girardini, M., Marchetto, D., Pantani, C.: Microtox® solid phase test: Effect of diluents used in toxicity test. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 2009: 851–861.
- /2/ Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S.: Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31, 2005: 739–753.
- /3/ Wallace, A., Alexander, G.V., Chaudhry, F.M.: Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper and boron. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8, 1977: 741–750.
- /4/ Szárazová, K., Fargašová, A., Hiller, E., Velická, Z., Pastierová, J.: Phytotoxic effects and translocation of Cr and Ni in washing wastewaters from cutlery production line to mustard (*Sinapis alba* L.) seedlings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, 2008: 58–65.
- /5/ Bennicelli, R., Stepniewska, Z., Banach, A., Szajnocha, K., Ostrowski, J.: The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. *Chemosphere*, 55, 2004: 141–146.
- /6/ Sharma, D.C., Chatterjee, C., Sharma, C.P.: Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. c.v. Dh 2204) metabolism. *Plant Science (Shannon, Ireland)*, 111, 1995: 145–151.
- /7/ Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E.: Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, 85, 1987: 801–803.
- /8/ Drazic, G., Mihailovic, N.: Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. *Plant Science*, 168, 2005: 511–517.
- /9/ Ghosh, M., Singh, S.P.A.: A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution*, 133, 2005, 365–371.
- /10/ Tappero, R., Peltier, E., Gräfe, M., Heidel, K., Ginder-Vogel, M., Livi, K.J.T., Rivers, M.L., Marcus, M.A., Chaney, R.L., Sparks, D.L.: Hyperaccumulator *Alyssum murale* relies on a different metal storage mechanism for cobalt than for nickel. *New Phytologist*, 175, 2007: 641–654.
- /11/ Fargašová, A.: Effect of Pb, Cd, Hg, As, and Cr on germination and root growth of *Sinapis alba* seeds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 1994: 452–456.
- /12/ Turner, M.A., Rust, R.H.: Effects of chromium on growth and mineral nutrition of soybeans. *Soil Science Society of America Proceedings*, 35, 1971: 755–758.
- /13/ Chatterjee, J., Chatterjee, C.: Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environmental Pollution*, 109, 2000: 69–74.
- /14/ Gheju, M., Balcu, I., Ciococ, M.: Analysis of hexavalent chromium uptake by plants in polluted soils. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 20, 2009: 12–131.
- /15/ Cervantes, C., Garcia, J.C., Devars, S., Corona, F.G., Tavera, H.L., Torres-Guzman, J.C., Moreno-Sánchez, R.: Interactions of chromium with micro-organisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25, 2001: 335–347.
- /16/ Zayed, A., Lytle, C.M., Jin-Hong, Q., Terry, N., Qian, J.H.: Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta*, 206, 1998: 293–299.
- /17/ Salt, D.E., Prince, R.C., Pickering, I.J.: Chemical speciation accumulated metals in plants: evidence from X-ray absorption spectroscopy. *Microchemical Journal*, 71, 2002: 255–259.
- /18/ Pandey, N., Sharma, C.P.: Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, 163, 2002: 753–758.
- /19/ Barman, S.C., Sahu, R.K., Bhargava, S.K., Chatterjee, C.: Distribution of heavy metals in wheat, mustard and weed grown in field irrigated with industrial effluents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64, 2000: 489–596.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory grantov VEGA 1/1139/11 a VEGA 1/0098/14.

ZMĚNY RYCHLOSTI VÝMĚNY PLYNŮ BUKU LESNÍHO V ZÁVISLOSTI NA NADMOŘSKÉ VÝŠCE

CHANGES OF GAS EXCHANGE IN EUROPEAN BEECH DEPENDING ON ELEVATION TRANSECT

Helena Hnilíčková¹, Margita Kuklová², František Hnilička¹, Ján Kukla²

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, hnilickova@af.czu.cz

² Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

Summary

The gas exchange and stomatal conductance were measured in the protection zone NP Slovenský Raj. This is one of anthropogenically polluted areas in Spiš (East Slovakia). As an experimental plant was used European beech (*Fagus sylvatica* L.), at the age of 10-15 years and 80-100 years. These characteristics were measured within the elevation transect within locations: Stolíky, Hliníky and Muráň. Rate of photosynthesis decreases with altitude. In contrast, transpiration rate and stomatal conductance increase with altitude. Younger plants (works) show lower values of photosynthesis and stomatal conductance than adult plants. In contrast, the rate of transpiration is higher for them.

Key words: European beech, Fagus sylvatica, elevation transect, photosynthesis, transpiration, pollutant

Souhrn

Rychlost výměny plynů a stomatální vodivost byla měřena v ochranném pásmu NP Slovenský Raj. Jedná se o antropogenně znečištěnou oblast Spiše na Východním Slovensku. Jako modelová rostlina byl použit buk lesní (*Fagus sylvatica* L.), ve stáří 10–15 let a 80–100 let. Uvedené charakteristiky byly měřeny v rámci výškové transektu na lokalitách Stolíky, Hliníky a Muráň. Z výsledků je patrné, že se stoupající nadmořskou výškou rychlost fotosyntézy klesá a naopak transpirace a stomatální vodivost stoupá. Rostliny mladší věkové kategorie vykazují nižší hodnoty fotosyntézy a stomatální vodivosti ve srovnání s rostlinami staršími, Naopak rychlost transpirace je vyšší u rostlin mladších.

Klíčová slova: buk lesní, Fagus sylvatica, výškový transekt, fotosyntéza, transpirace, emise

ÚVOD

Vegetace citlivě reaguje na antropogenní znečištění životního prostředí zpomalením primárního metabolismu, tvorbou zásobních látek a v konečném důsledku omezením růstu a životaschopnosti. Podle [3, 9] negativní vlivy vnějšího prostředí snižují vitalitu dřevin a umožňují atak patogenních organismů. Hodnocení vlivu znečištění životního prostředí je nutné sledovat také v rámci výškového transektu, neboť rostliny z rozdílných nadmořských výšek reagují na jednotlivé faktory vnějšího prostředí odlišně. Pro rostliny z vyšších

nadmořských výšek je limitujícím faktorem asimilace CO₂ teplota a vlhkost vzduchu, ale také oblačnost. Podle /6/ jsou dalšími faktory snižujícími fotosyntézu diskriminace ¹³C v porovnání s izotopem ¹²C, dále vztah mezi sink a source, ale také délka slunečního svitu a hydraulická vodivost. Na základě těchto dat byla stanovena hypotéza, zda existuje vztah mezi nadmořskou výškou a rychlostí výměny plynů v emisně zatížené oblasti Spíše na Východním Slovensku?

MATERIÁL A METODA

Rychlost výměny plynů buku lesního byla měřena v rámci transektu na lokalitách Hliníky, Muráň a Stolíky v letech 2012–2013. Charakteristika daných lokalit je uvedena v Tab. 1.

Tab. 1: Základní stanovištní charakteristiky na experimentálních plochách v ochranném pásmu NP Slovenský raj.

Lokalita	Stolíky		Hliníky		Muráň	
Monitorovací plocha	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Geografické souřadnice	20°30'43"E 48°53'18"N	20°30'42"E 48°53'17"N	20°32'07"E 48°51'51"N	20°32'12"E 48°51'49"N	20°28'40"E 48°52'55"N	20°28'37"E 48°52'55"N
Nadm. výška [m]	750	760	960	950	1100	1110
Věk porostu	10-15	80-100	10-15	80-100	10-15	80-100
Růstová fáze	mladina	dospělý porost	mladina	dospělý porost	mladina	dospělý porost
Lesní vegetační stupeň	5. jedlo-bukový		5. jedlo-bukový		6. smrko-buko-jedlový	
Skupina lesních typů	<i>Abieti-Fageta inferiora</i>		<i>Abieti-Fageta inferiora</i>		<i>Fageta abietino-piceosa</i>	
Půdní typ	kambizem podzolová		kambizem podzolová		podzol rankrový	
pH _{H2O} (0–5 cm)	4,8	4,5	4,0	4,8	3,4	3,4
pH _{KCl} (0–5 cm)	3,6	3,3	3,1	3,6	2,5	2,4

U rostlin buku byla měřena rychlost výměny plynů přenosným infračerveným analyzátozem plynů LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.). Doba měření byla stanovena v souladu s prací /8/. Charakteristiky výměny plynů byly měřeny na základě nastavených světelných a teplotních podmínek, ozáření bylo 650 μmol m⁻² s⁻¹ z FAR, teplota v měřicí komoře byla 25 °C, koncentrace CO₂ byla 420±35 μmol mol⁻¹, průtok vzduchu byl 205±30 μmol s⁻¹. Hodnota VSD byla 0,85±0,15 kPa. Doba měření každého vzorku byla 20 min po ustálení podmínek uvnitř měřicí komory. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány pomocí StatSoft, Inc. (2001) -STATISTICA Cz [Softwarový systém na analýzu dat], verze 9.0.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Měřené fyziologické charakteristiky buku lesního v rámci výškového transektu a věku porostu jsou uvedeny v tab. 2.

Z uvedených tabulek je patrné, že rychlost fotosyntézy (P_N) se snižovala s nadmořskou výškou, kdy na lokalitě Stolíky (750 m nad m.) byla průměrná rychlost fotosyntézy ve výšce 16,06 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, ale na lokalitě Muráň (1110 m nad m.) byla fotosyntéza 14,65 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. Uvedený závěr potvrzují ve své práci např. /1, 5, 6/.

Z výsledků měření rychlosti transpirace (E) listů buku vyplývá, že se zvyšující se nadmořskou výškou její hodnoty a rychlosti fotosyntézy se zvyšují. Nižší transpirace byla

zaznamenána na lokalitě Hliníky ($1,50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a nejvyšší na lokalitě Muráň, kde byla rychlost transpirace v porovnání s lokalitou Hliníky o $0,17 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ vyšší, jak dokládá Tab. 2. Získaný závěr je v souladu s prací /2, 5/. Tento trend je dán vyšší vlhkostí vzduchu a vyšším zastoupením srážek.

Hodnotíme-li vliv nadmořské výšky na stomatální vodivost (g_s) můžeme konstatovat, že nebyly nalezeny průkazné difference mezi lokalitami Muráň a Stolíky, kdy průměrná vodivost průduchů zde byla $0,047 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naopak průkazně nejnižší stomatální vodivost byla zjištěna na lokalitě Hliníky (960 m nad m.) – $0,023 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, viz Tab. 2. Dowell et al /6/ uvádí, že vlivem nadmořské výšky stoupá hodnota g_s . Tento závěr byl potvrzen.

Tab. 2: Vliv nadmořské výšky a stáří porostu na rychlost výměny plynů a stomatální vodivost listů buku lesního

Lokalita	Porost	P_N	E	g_s
Hliníky	mladina	$13,80 \pm 1,29$	$1,75 \pm 0,38$	$0,018 \pm 0,01$
	dospělý	$15,51 \pm 1,48$	$1,57 \pm 0,25$	$0,029 \pm 0,009$
	průměr	$14,65 \pm 1,38$	$1,66 \pm 0,32$	$0,023 \pm 0,01$
Stolíky	mladina	$15,95 \pm 1,75$	$1,51 \pm 0,24$	$0,045 \pm 0,02$
	dospělý	$16,17 \pm 1,89$	$1,49 \pm 0,21$	$0,050 \pm 0,025$
	průměr	$16,06 \pm 1,85$	$1,50 \pm 0,25$	$0,047 \pm 0,027$
Muráň	mladina	$13,54 \pm 1,05$	$1,73 \pm 0,28$	$0,050 \pm 0,024$
	dospělý	$15,76 \pm 1,48$	$1,61 \pm 0,31$	$0,046 \pm 0,030$
	průměr	$14,65 \pm 1,28$	$1,67 \pm 0,37$	$0,048 \pm 0,027$

LITERATURA

- /1/ Farmer, A.M.: The effects of dust on vegetation – A review. *Environmental Pollution*, 79, 1993: 63–75.
- /2/ Harsch, M. A.: Tree line dynamics: pattern and process at multiple spatial scales. Doctoral dissertation, Lincoln University. 2010: 147.
- /3/ Kukla, J., Kuklová, M.: Growth of *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae) in spruce forests damaged by air pollution. *Polish Journal of Ecology*, 53, 2008: 427–434.
- /4/ Kumar, A., Guha, A., Bimolata, W., Reddy, A.R., Laha, G.S., Sundaram, R.M., Gouri, S.L., Sundaram, R.M., Pandey, M.K., Ghazi, I.A.: Leaf gas exchange physiology in rice genotypes infected with bacterial blight: An attempt to link photosynthesis with disease severity and rice yield. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 2013: 32–39.
- /5/ Leuschner, C., Zach, A., Moser, G., Homeier, J., Graefe, S., Hertel, D., Wittich, B., Iost, S., Röderstein, M., Horna, V., Wolf, K.: The carbon balance of tropical mountain forests along an altitudinal transect. In: Bendix, J., Beck, E., Bräuning, A., Makeschin, F., Mosandl, R., Scheu, S., Wilcke, W. (eds): *Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador*. Springer, Berlin Heidelberg, 2013: 117–139. ISBN: 978-3-642-38136-2.
- /6/ McDowell, N.G., Bond, B.J., Dickman, L.T., Ryan, M.G., Whitehead, D.: Relationships between tree height and carbon isotope discrimination. In: Meinzer, F.C., Lachenbruch, B., Dawson, T. E. (eds): *Size- and age-related changes in tree structure and function*. Springer, Netherlands, 2011: 255–286. ISBN: 978-94-007-1241-6.
- /7/ Nizzetto, L., Perlinger, J.A.: Climatic, Biological and Land Cover Controls on the Exchange of Gas-Phase Semivolatile Chemical Pollutants between Forest Canopies and the Atmosphere. *Environmental Science and Technology*, 46, 2012: 2699–2707.
- /8/ Tucci, M.L.S., Erisman, N.M., Machado, E.C., Ribeiro, R.V.: Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peaches grown under subtropical conditions. *Photosynthetica*, 48, 2010: 421–429.

/9/ Zach, A., Horna, V., Leuschner, CH., Zimmermann, R.: Patterns of wood carbon dioxide efflux transect in an Andean moist forest. *Oecologia*, 162, 2010: 127–137.

Poděkování

Tato práce byla podporovaná Vědeckou grantovou agenturou MŠ SR a SAV (projekt č. 2/0027/13) a S projektem uděleným MŠMT ČR.

VLIV FAKTORŮ VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA POŠKOZENÍ LISTOVÉ PLOCHY VYBRANÝCH LISTNATÝCH DŘEVIN

EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE DAMAGE OF LEAF AREA OF SELECTED BROAD-LEAVED WOODY SPECIES

František Hnilička¹, Ján Kukla², Helena Hniličková¹, Margita Kuklová², Petra Šrůtková¹

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, hnlickova@af.czu.cz

² Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

Summary

The object of this study was monitoring extent of damage of leaf area during the growing season 2012 for deciduous tree species in the area of Rýchory in the Krkonoše National Park. Tree species which were examined are as follows: silver birch, sycamore maple and European Beech. Degree of damage was evaluated by visual analysis with using the device WinDIAS. The result of our local vegetation research was that deciduous tree species were not significantly damaged by anthropogenic pollution in interest area. Monitored damage was primarily caused by natural sources. From anthropogenic pollution we only registered likely impact of elevated concentrations of ground-level ozone on plants of European beech and partly of maple. Although the monitored location is included in the deteriorated air quality area in terms of exceeding the limit value just for ground-level ozone there is no massive disruption of forest ecosystems.

Key words: European beech, silver birch, sycamore, Krkonoše Mts., visual analysis, air pollution

Souhrn

Cílem byl monitoring míry poškození listové plochy v průběhu vegetačního období roku 2012 u listnatých dřevin (buk lesní, bříza bělokora a javor klen) v oblasti Rýchory v Krkonošském národním parku. Poškození listové plochy bylo hodnoceno na základě obrazové analýzy WinDIAS. Z výsledků vyplývá, že nebylo zjištěno výrazné poškození dřevin vlivem antropogenního znečištění. Bylo zaznamenáno vyšší poškození dřevin přízemním ozonem. Na zvýšenou koncentraci přízemního ozonu citlivě reagoval buk lesní a javor klen. Ačkoliv uvedená oblast se nachází v oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší, nebyla mezní hodnota polutantů překročena.

Klíčová slova: buk lesní, bříza bělokora, javor klen, polutanty, Krkonoše, obrazová analýza

ÚVOD

Lesní ekosystémy tvoří na území ČR velmi významnou plochu, a proto se jedná také o ekosystémy, kterou jsou významnou měrou poškozovány vlivy vnějšího prostředí. Míra poškození těchto ekosystémů je dána také nevhodnou skladbou dřevin, jejich věkovou strukturou a biodiverzitou omezenou /1, 5, 10/. V posledních desetiletích se právě imise staly nejnebezpečnějšími škodlivými činiteli ve střední Evropě. Podle /7/ je dnes pod vlivem imisí

celé území ČR. Je pravdou, že od 90. let minulého století dochází k postupnému poklesu vypouštěných emisí do ovzduší, čímž se postupně emisní zátěž na lesní ekosystémy pomalu snižuje. Pomalé snižování je dále také v důsledku depozitu těchto škodlivých látek v rostlinné biomase a v půdě. Na základě těchto údajů bylo cíle zjistit míru poškození listové plochy vybraných druhů dřevin v důsledku působení antropogenního znečištění.

MATERIÁL A METODA

Monitoring poškození listové plochy se uskutečnil od května do října roku 2012. Jako zájmové území byl vybrán lesní porost v oblasti Rýchorské boudy ve východních Krkonoších. Rýchorská bouda se nachází na GPS souřadnicích: 50°39'37.243" N, 15°51'1.012" E, v nadmořské výšce 1 000 m nad m. Zájmové území zahrnovalo oblast v okruhu cca 2 000 m od Rýchorské boudy. Do pokusu byly zařazeny: buk lesní, bříza bělokorá a javor klen. Uvedené druhy patří mezi nejčastěji se vyskytující dřeviny v dané oblasti /9/.

Míra poškození listového aparátu rostlin byla zjišťována na základě obrazové analýzy, pomocí přístroje a softwaru WinDIAS 3, firmy Delta-T Devices Ltd., Velká Británie /4, 8/.

VÝSLEDKY A DISKUSE

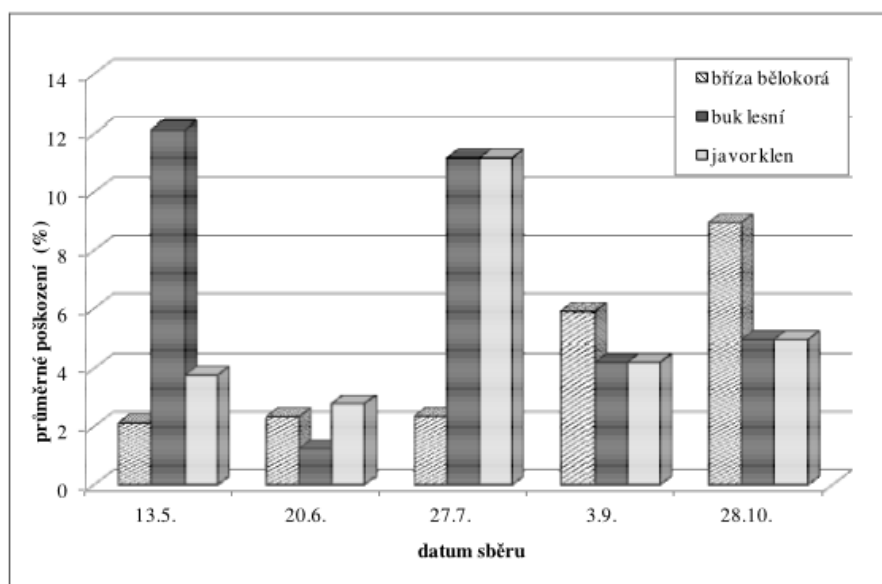
Naměřené hodnoty poškození listové plochy sledovaných druhů dřevin jsou uvedeny v Tab. 1 a Grafu 1.

Tab.1: Poškozená plocha listů v cm².

číslo měření	13.5.			20.6.			27.7.			3.9.			28.10.		
	bříza	javor	Buk	bříza	javor	buk	bříza	javor	buk	bříza	javor	buk	bříza	javor	buk
1	0,3	3,8	0,8	0,1	2,7	0,4	0,2	3,3	3,5	0	4,2	1,5	1,5	8,2	0,7
2	0,6	13,9	4,0	0,1	2,3	0,1	0,5	3,7	3,6	0,2	1,9	0,7	2,1	15,0	2,3
3	0,2	3,1	3,9	0,2	1,4	0,1	0,1	14,9	7,0	0,5	1,1	0,9	0,6	4,7	2,7
4	1,1	1,2	1,9	0,0	1,9	0,1	0,0	4,7	2,2	0,2	3,2	0,5	1,5	11,0	1,2
5	0,1	3,2	4,8	0,1	2,2	0,6	0,5	3,6	5,2	0,4	2,5	0,7	0,2	6,8	0,4
6	0,1	2,5	1,9	0,4	1,4	0,0	0,1	1,5	2,2	1,6	0,8	0,7	1,1	2,7	1,8
7	0,1	1,4	1,5	0,2	0,4	0,4	2,9	0,6	5,4	0,3	0,7	1,5	0,2	5,9	0,6
8			0,6				0,4	61,2				1,0	0,1		1,5
9													0,4		
ar. průměr	0,3	4,2	2,4	0,2	1,7	0,2	0,6	11,7	4,1	0,4	2,0	0,9	0,9	7,8	1,4
směr. odchylka	0,4	4,4	1,6	0,1	0,8	0,2	0,9	20,5	1,8	0,5	1,3	0,4	0,7	4,1	0,8
var. rozpětí	1,0	12,7	4,2	0,4	2,4	0,5	2,9	60,6	4,8	1,5	3,5	1,0	2,0	12,3	2,3

Z Tab. 1 v yplývá, že u žádného sledovaného druhu ne došlo k výraznému porušení listové plochy. V případě břízy bělokoré byla míra poškození ze sledovaných rostlinných druhů nejnižší a pohybovala se v průměru naměřených hodnot od 0,2 cm² (20. 6.) do 0,9 cm² (28. 10.). Na počátku vegetace byla míra poškození nižší než na konci vegetace, kde se míra poškození zvýšila také v důsledku senescence. Naopak nejvyšší míra poškození listové plochy byla zaznamenána u buku lesního. V případě buku lesního bylo poškození listové plochy zaznamenáno již na počátku sledovaného období, kdy míra poškození listů činila v průměru 2,4 cm². Na konci sledovaného období se poškození listové plochy snížilo na hodnotu 1,4 cm². Podle /2/ patří buk lesní k citlivým dřevinám vůči emisní zátěži a naopak bříza bělokorá

jako dřevina nejméně citlivá. Tyto závěry byly potvrzeny také v případě působení přízemního ozonu. Nebyl potvrzen závěr /2/, který uvádí, že javor klen je citlivý k imisím. Ze získaných výsledků je patrné, že se jedná o dřevinu středně citlivou, jak dokládá práce /3/.



Graf 1: Relativní poškození listové plochy (%) ve vegetační sezoně 2012.

V Grafu 1 je uveden vývoj relativní míry poškození listové plochy v průběhu vegetace. Z něho je patrné, že poškození listové plochy břízy bělokoré bylo bezvýznamné. Na počátku sledovaného období, tedy až do 3. odběru byla průměrná míra poškození listů ve výši 2 %. Během podzimních měření se poškození nepatrně zvýšilo a na konci sledovaného období činilo 8,9 %.

U buku lesního se již poškození listů začalo objevovat již na počátku vegetace, kdy činilo 12,1 %. Druhé maximum poškození bylo zaznamenáno ve třetím termínu měření. V tomto termínu bylo poškození 11,2 %. Ke konci vegetace se míra poškození listové plochy snížila na hodnotu 4,9 %, jak dokládá Graf 1.

Z uvedeného grafu je dále patrné, že míra poškození listové plochy javoru kleny byla v průběhu vegetace vyrovnanější. Shodně se zbývajícími rostlinnými druhy byla nejvyšší míra poškození listové čepule zaznamenána v červenci (11,2 %) a naopak nejnižší na počátku (3,8 %) a na konci vegetace (4,9 %).

Získané výsledky jsou v souladu s prací /2/. Vyšší míru poškození rostlin přízemním ozonem ve své práci potvrzuje např. /6/. Uvedený autor konstatuje, že se jedná o sezonní výkyvy. První maximum poškození rostlin bývá zaznamenáno na jaře a druhé v letních měsících.

Závěrem je možné konstatovat, že jednotlivé druhy dřevin citlivě reagují na znečištění, kdy jako tolerantní se jeví bříza bělokorá a jako citlivým se jeví buk lesní. Dále byl potvrzen sezonní průběh poškození listů přízemním ozonem.

LITERATURA

/1/ Conti, M. E., Cecchetti, G.: Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. Environmental Pollution, 114 (3), 2001: 471–492.

- /2/ Dittmar, C., Pfaffelmoser, K., Rötzer, T., Elling, W.: Quantifying ozone uptake and its effects on the stand level of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. *Environmental Pollution*, 134 (1), 2005: 1–4.
- /3/ Gregorová, B.: Poškození dřevin a jeho příčiny. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 2006: 361.
- /4/ Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., Zarrouk, M.: Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 119 (3), 2009: 257–263.
- /5/ Kotova, T.V., Miklyaeva, I.M., Ogureeva, G.N., Suslova, E.G., Shvergunova, L.V.: Experience in mapping the ecological state of the plant cover. *Russian Journal of Ecology*, 31 (5), 2000: 318–323.
- /6/ Monks, P.S.: A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. *Atmospheric Environment*, 34 (21), 2000: 3545–3561.
- /7/ Slodičák, M.: Stabilizace a rozvoj produkční a mimoprodukčních funkcí lesů pod vlivem průmyslových emisí. In: Matějka, K. (ed.): *Studium horských lesních ekosystémů a jejich poškození v České republice*. Scientific-Pedagogical Publishing, České Budějovice, 1992: 992.
- /8/ Tourneur, D., Bodson, B., Aubinet, M., Vancutsem, F., Moureaux, C., Falisse, A.: Contribution to the winter wheat (*Triticum aestivum* sp.) carbon balance elaboration: crop growth and biomass monitoring. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 2006: 62.
- /9/ Vacek, S., Simon, J., Minx, T., Podrázský, V., Balcar, Z.: Struktura a vývoj lesních ekosystémů v Krkonoších. *Opera Concorsica*, 2007: 415–424.
- /10/ Woo, S.Y.: Forest decline of the world: A linkage with air pollution and global warming. *African Journal of Biotechnology*, 8 (25), 2009: 7409 – 7414.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MSM 6046070901.

VPLYV INTENZITY HOSPODÁRSKEHO ZÁSAHU NA PRODUKČNÝ POTENCIÁL DRUHU *CAREX PILOSA* (SCOP.) V PODHORSKÝCH BUČINÁCH

INFLUENCE OF CUTTING ON BIOMASS PRODUCTION OF CAREX PILOSA (SCOP.) IN THE SUBMOUNTAIN BEECH FORESTS

Rastislav Janík, Branislav Schieber, Martin Kubov, Ivana Šimková

Ústav ekológie lesa SAV vo Zvolene, Štúrova 2, 960 01 Zvolen, Slovenská republika, janik@savzv.sk

Summary

This work summarizes results of a 5-year research on production-ecological properties of *Carex pilosa* species in beech forest stands at the EES Kremnické vrchy Mts. The changed ecological conditions significantly influenced production of the studied taxon. The highest values were recorded before the cutting in 2004: 581.0 kg.ha⁻¹ of above-ground biomass in the summer aspect in 1994, and 1631.0 kg.ha⁻¹ of below-ground biomass in the autumnal aspect of the same year. Both values were obtained on the clear-cut plot (0.0 in 1989). The lowest production values were on the plot with stocking densities of 0.9 (1989) 25.0 kg.ha⁻¹ of above-ground and 25.0 kg.ha⁻¹ of below-ground biomass.

Key words: Carex pilosa, submountain beech forests, biomass production

Súhrn

V práci uverejňujeme výsledky 5 ročného produkčno-ekologického výskumu dominantného druhu *Carex pilosa* v podmienkach bukových porastov EES Kremnické vrchy. Zmenené ekologické podmienky výrazne ovplyvnili produkčné schopnosti skúmaného taxónu. Pred zásahom v roku 1989 boli najvyššie hodnoty vyprodukovanej nadzemnej biomasy 581 kg.ha⁻¹ zaznamenané v letnom aspekte. Maximum produkcie podzemnej biomasy bolo na meraní v jesennom odbere s hodnotou 1631 kg.ha⁻¹. V oboch prípadoch to bolo na ploche, kde bol uskutočnený holorub. Najnižšie produkčné hodnoty boli na kontrolnej ploche bez zásahu – 25,0 kg.ha⁻¹ nadzemnej a 25,0 kg.ha⁻¹ podzemnej biomasy.

Kľúčové slová: Carex pilosa, podhorské bučiny, produkcia biomasy

ÚVOD

Bylinná zložka zohráva v prostredí lesných ekosystémov veľmi dôležitú úlohu, jednak ako indikátor jednotlivých nárokov skúmaného stanovišťa a jednak ako i indikátor na posúdenie efektívnosti hospodárskych zásahov. Poznanie jednotlivých rastlinných taxónov, ich produkčných schopností a ekologických nárokov môže významne prispieť k zachovaniu rovnováhy medzi jednotlivými zložkami životného prostredia, ktoré nás obklopuje a ovplyvňuje na každom mieste a v každom čase. Podobne prezentovali a orientujú sa voj výskumaj /2, 9, 8, 10/.

MATERIÁL A METÓDA

Výskum produkcie druhu *Carex pilosa* bol realizovaný v rokoch 1993–1994, 2005, 2006 a 2010 na ekologickom s tacionári v Kremnických vrchoch v bukových porastoch

s diferencovaným zakmenením (0,0; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9). Typologicky bola plocha zaradená do 3. lesného vegetačného stupňa (Ivs), živného radu B a prechodného radu z oživného do nitrofilného (B/C), s kupiny lesných typov *Fagetum paupe inferiora* /4/. Podnetie je vrstevnaté, budované hlavným a bazálnym súvrstvím /7, 1/.

Na stanovenie nadzemnej fytohmoty bylín sme použili a plikovanú metódu ne priameho odberu podľa /5/. Za študijnú plochu sa zvolila plocha fytoecologického zápisu (20 × 20m). Pre potreby produkčno-ekologického výskumu v zmysle /6/ sa na ploche fytoecologického zápisu fixovalo 5 reprezentatívnych plošiek, každá o výmere 1 m². Pri produkcii a hodnotení podzemnej fytohmoty sme postupovali podľa metódy opísanej /2 in 12/. Pri štatistickom spracovaní a testovaní rozdielov produkcie *Carex pilosa* sme použili štatistický balík Statistica 7 a Statgraphics.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Produkcia na ploche H so zakmenením 0,0

Celkovo v roku 1993 na ploche, kde bol uskutočnený holorub, bolo vyprodukované 358 kg.ha⁻¹ nadzemnej biomasy a 544 kg.ha⁻¹ podzemnej biomasy. Nasledujúci rok 1994 bol charakteristický ná rastom na 581 kg na nadzemnej a až 1631 kg.ha⁻¹ podzemnej biomasy. Po zásahu v roku 2004 došlo k výškovému ná rastu mladiny na viac ako 14 m. Tým bola z hľadiska svetelných a zrážkových pomerov výrazne ovplyvnená sledovaná plocha. Podľa našich meraní /3/ sa v čase plného olistenia v roku 2001 dostalo na túto plochu len 0.563 klx, čo predstavuje len okolo 2% zo svetla, ktoré dopadá na voľnú plochu. V roku 2004 bolo na tejto ploche vyprodukované len v priemere 17.8 kg.ha⁻¹ nadzemnej biomasy a 5.0 kg.ha⁻¹ podzemnej biomasy. V roku 2005 sa tieto hodnoty zvýšili len nepatrne pri nadzemnej biomase, pri podzemnej sa produkcia zvýšila na 22.5 kg.ha⁻¹. V roku 2010 sa tento trend potvrdil (Tab. 1). O vplyve svetla na produkciu jednako bylinnej vrstvy a tiež produkcie semenáčikov vo svojich prácach pojednávajú /11/. Dospeli k záveru o takmer funkčnej závislosti produkcie biomasy rastlín od svetelných pomerov v daných ekosystémoch. Vysoké hodnoty smerodajnej odchýlky a variačného koeficienta (Tab. 2) svedčia o veľmi vysokej variabilite hodnôt v rámci sledovaného obdobia, čo bolo zrejme spôsobené rýchlo sa meniacimi ekologickými podmienkami odrastajúcej mladiny.

Produkcia na ploche I so zakmenením 0,3

Celkový priebeh vyprodukovaného množstva biomasy *Carex pilosa* udáva Tab. 1. V rokoch 1993–94 dochádza k výraznému poklesu hodnôt produkcie tak na nadzemnej, ako aj podzemnej biomasy v porovnaní s plochou H. Hodnoty variačného koeficientu 57.1 % pri nadzemnej a 53.72 % pri podzemnej biomase sú v porovnaní s plochou H oveľa nižšie. Variačné rozpätie na tejto čiastkovej ploche je najnižšie v porovnaní s ostatnými plochami (Tab. 2).

Produkcia na ploche S so zakmenením 0,5 a ploche M so zakmenením 0,7

Čiastková plocha S a plocha M majú veľmi podobný priebeh hodnôt produkcie. V oboch prípadoch došlo k opätovnému zníženiu produkčných schopností a to počas celého sledovaného obdobia. Na ploche S dosiahla hodnota produkcie nadzemnej biomasy úroveň 34.3 kg.ha⁻¹ a 28.4 kg.ha⁻¹ podzemnej biomasy. Na ploche M predstavovali tieto množstvá hmotnosť 101.7 kg nadzemnej a 113.6 kg.ha⁻¹ podzemnej biomasy. Hodnoty variačného koeficientu zostávajú vysoké.

Produkcia na ploche K so zakmenením 0,9

Produkcia biomasy na kontrolnej ploche bez zásahu zostáva na pomerne vyrovnaných hodnotách v priebehu celého výskumu. Mierne sa zvýšilo zakmenenie na hodnotu 0.95.

Potvrďujú to aj najnižšie hodnoty variačného koeficientu zo všetkých skúmaných čiastkových plôch (Tab. 2). Dôvodom je pravdepodobne vysoká p riestorová v ariabilita koreňovej sústavy tohto dominantného taxónu. Aj v stanovištných podmienkach tejto plochy je zrejmy trend znižovania produkcie nadzemných častí v jesenných mesiacoch a zároveň nárastu produkcie koreňovej sústavy. Opačný trend bol zaznamenaný len v roku 2006, kedy v jesennom aspekte bolo zaznamenané vyššie množstvo nadzemných častí *Carex pilosa* a nižší podiel podzemných častí v porovnaní s jarným aspektom (Tab. 1).

Tab. 1: Produkcia nadzemnej a podzemnej biomasy druhu *Carex pilosa* (Scop.) na EES Kremnické vrchy

Plocha	H		I		S		M		K	
	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná
Biomasa	kg.ha-1									
Rok										
1993	358.0	544.0	27.0	27.0	196.0	250.0	39.0	48.0	60.0	40.0
1994	581.0	1631.0	36.0	66.0	209.0	266.0	57.0	91.0	75.0	93.0
2005	17.8	5.0	93.5	59.5	24.9	7.0	89.0	106.5	73.0	25.5
2006	26.0	22.5	115.0	118.0	5.5	5.5	255.5	189.5	25.0	39.5
2010	25.2	30.5	125.2	130.5	8.5	7.2	214.8	210.2	26.5	27.6

H – holorub (zakmenenie 0.0); I – intenzívny zásah (zakmenenie 0.3 v roku 1989 a 0.0 v roku 2009); S – stredný zásah (zakmenenie 0.5 v roku 1989, 0.3 v roku 2004 a 0.0 v roku 2009); M – mierny zásah (zakmenenie 0.7 v roku 1989, 0.5 v roku 2004 a 0.0 v roku 2009); K – kontrola bez zásahu (zakmenenie 0.9 v roku 1989-2004, 0.95 v roku 2010)

Tab. 2: Popisná štatistika produkcie nadzemnej a podzemnej biomasy druhu *Carex pilosa* (Scop.) na EES Kremnické vrchy

Plocha	H		I		S		M		K	
	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná	Nad-zemná	Pod-zemná
Priemer	201.6	446.6	79.3	80.2	88.8	107.1	131.1	129.9	51.9	45.1
Geometrický priemer	75.3	78.8	66.6	69.6	34.3	28.4	101.7	113.6	46.5	40.1
Smerodajná odchýlka	256.9	700.1	45.3	43.1	104.2	137.8	97.8	69.9	24.6	27.6
Minimum	16.0	4.0	22.0	19.0	4.0	5.0	6.0	6.0	19.0	15.0
Maximum	795.0	1901.0	124.0	124.0	295.0	413.0	389.0	312.0	120.0	153.0
Rozpätie	779.0	1897.0	102.0	105.0	291.0	408.0	383.0	306.0	101.0	138.0
V _x %	127.4	156.8	57.1	53.7	117.3	128.7	74.6	53.8	47.4	61.2

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že hodnoty podzemnej biomasy *Carex pilosa* kulminujú v jesenných mesiacoch, pričom nadzemnej biomase sa maximum dosahuje v letných mesiacoch. Zmenené podmienky vplyvom hospodárskej činnosti významne ovplyvňujú produkciu biomasy nadzemných ako aj podzemných častí jednotlivých rastlín. Výrazne sa to prejavuje vysokými hodnotami variačných koeficientov takmer na všetkých plochách. Výnimkou je len kontrolná plocha bez zásahu, kde to bolo len 32% pri nadzemnej biomase. Výsledky párového testovania potvrdili veľmi vysokú významnosť rozdielov produkcie nadzemnej biomasy medzi čiastkovými plochami H:I, H:M a H:K. To isté platí aj pri hodnotách produkcie podzemnej biomasy.

LITERATÚRA

- /1/ Dubová, M., Bublinc, E.: Evaluation of sulphur and nitrogen deposition of forest ecosystems. *Ekológia (Bratislava)*, 25 (4), 2006: 366–376.
- /2/ Fiala, K.: Variation in total underground biomass, root growth rate and rhizome formation in grass stands on deforested sites. In: *Grass ecosystems of deforested areas in the Beskydy Mts.* Institute of Landscape Ecology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno, 1996: 83–90.
- /3/ Janík, R.: Light conditions in submountain beech stands in dependence on cutting intensity. *Folia oecologica*, 36, 2009: 67–70.
- /4/ Kontriš, J. et al.: Fytcenologické pomery a dynamika vegetácie na EES Kováčová. Závěrečná správa výskumnej úlohy VI-4-2/07. Ústav ekológie lesa SAV, Zvolen, 1988: 47.
- /5/ Kubíček, F.: Metódy štúdia produktivity rastlín. *Acta Ecologica*, 16, 1977: 8–30.
- /6/ Kubíček, F.: Produkčnoekologické štúdium biomasy bylinnej vrstvy lesných spoločenstiev. Doktorská dizertačná práca. ÚEBE CBEV SAV, Bratislava, 1983: 311.
- /7/ Kukla, J.: Variability of solutions percolated through cambisol in a beech ecosystem. *Ekológia (Bratislava)*, 2002, 21: 13–26.
- /8/ Kuklová, M., Kukla, J.: Natural reserve Chynoriansky luh floodplain, its ecology and biometry of dominant herb species. *Ekológia (Bratislava)*, 25, 2006: 341–351.
- /9/ Kukla, J., Kuklová, M.: Growth of *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae) in spruce forests damaged by air pollution. *Polish Journal of Ecology*, 56, 2008: 149–155.
- /10/ Kuklová, M., Kukla, J., Schieber, B.: Individual and population parameters of *Carex pilosa* Scop. (Cyperaceae) in four forest sites in Western Carpathians (Slovakia). *Polish Journal of Ecology*, 53, 2005: 427–434.
- /11/ Petřík, M.: Mikroklima lesných typov na vulkanitoch stredného Slovenska. *Biologické práce*, Bratislava, 17, 6, 1971: 161.
- /12/ Rychnovská, M., et al.: *Metody studia travinných ekosystémů.* Academia, Praha, 1987: 217.

PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory VEGA projektu č. 2/0089/14 a č. 2/0041/13

ANALÝZA VOĽNÉHO OZÓNU V PODMIENKACH VIDIECKEHO PROSTREDIA ZÁPADNÝCH KARPÁT

ANALYSIS OF AMBIENT OZONE IN THE CONDITIONS OF THE RURAL ENVIRONMENT IN THE WESTERN CARPATHIANS

Daniela Kellerová, Rastislav Janík

Ústav ekologie lesa SAV, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, kellerova@savzv.sk

Summary

Paper analyzes summary data on concentrations of ambient ozone measured at the same time between 2006 and 2012 in two different research areas of rural environment. Real results show that concentrations of ozone are still relatively high and that interannual time differences have significantly appeared. Frequent occurrence of extreme episodes that occurred in the context of climate change means a serious risk to the environment. The situation in free ozone formation is not yet stabilized in that area and the development trend is not explicit.

Keywords: ambient ozone, rural areas, air temperature, Western Carpathian

Súhrn

Práca analyzuje súhrnné údaje o koncentráciách voľného ozónu namerané v rovnakom čase rokov 2006 až 2012 na dvoch rozličných výskumných plochách vidieckeho prostredia. Z reálnych výsledkov vyplýva, že hodnoty koncentrácií ozónu sú stále pomerne vysoké a výrazne sa prejavili medziročné časové diferencie. Frekventovaný výskyt extrémnych epizód, ktoré sa prejavili v súvislosti s klimatickými zmenami, znamená vážne riziko pre životné prostredie. Situácia v tvorbe voľného ozónu zatiaľ nie je v danej oblasti stabilizovaná a trend vývoja nie je jednoznačný.

Kľúčové slová: voľný ozón, vidiecke prostredie, teplota vzduchu, Západné Karpaty

ÚVOD

V súčasnosti predstavuje jeden z najzávažnejších problémov znečisteného ovzdušia, v strednej Európe, voľný ozón. Jeho tvorba je proces veľmi zložitý. V troposfére je produkovaný v komplexe fotochemických reakcií za prítomnosti prekurzorov oxidov dusíka (NO_x) a prchavých organických látok (VOCs), najmä v teplom období (apríl-september). Produkcia a transport ozónu sú ovplyvňované meteorologickými faktormi ako teplota vzduchu, slnečné žiarenie, množstvo zrážok a cirkulácia [4, 2, 13]. V významný je vplyv otepľovania [3], čo súvisí s globálnou klimatickou zmenou. Ozón, pochádzajúci z diaľkového prenosu, má tendenciu premiešavať sa, až splýnuť s úrodnou cirkuláciou a výsledkom je lokálna úroveň koncentrácií. Výskum voľného ozónu sa orientoval na priestorové rozloženie, časové variácie, teda rozdiely s sezónnych a medziročných koncentrácií a nadlimitné prekročenia vo vzťahu k vybraným meteorologickým charakteristikám.

MATERIÁL A METÓDA

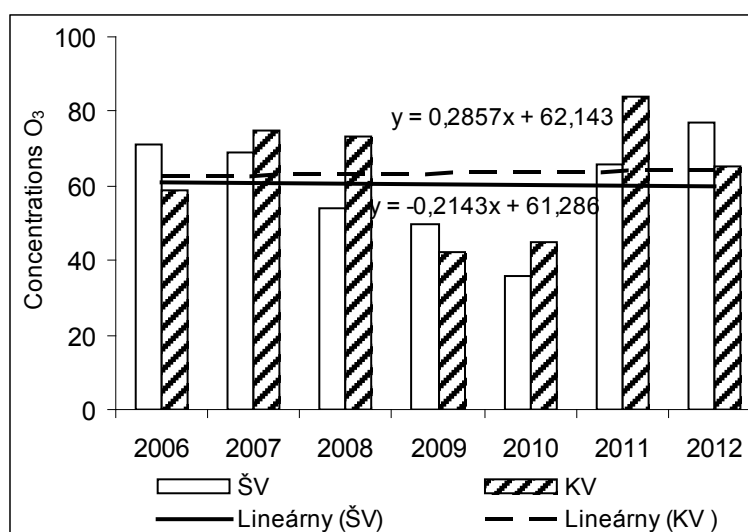
Zámerom experimentu bolo zistiť reálny stav, distribúciu a rozloženie voľného ozónu v dvoch výskumných plochách vidieckeho prostredia.

Kremnické a Štiavnické vrchy sú horským celkom Slovenského stredohoria budované sopečnými horninami. Ich kotliny sú poznačené intenzívnym poľnohospodárstvom, priemyslom a urbanizáciou krajiny. Plocha v Štiavnických vrchoch je v blízkosti (1750m) významného zdroja znečisťovania (hlinikáreň), zatiaľ čo plocha v Kremnických vrchoch je od neho vzdialená 18 km. Obe plochy boli umiestnené mimo lesného porastu.

Princíp stanovenia ozónu podľa Wernerovej metódy [14] spočíva v selektívnej reakcii indiga naneseného na filtračnom papieri s ozónom v ovzduší počas 7–10 dňovej expozície v teréne počas letných sezón. Pasívne zberače ozónu sú umiestnené na každej ploche dva paralelne vo výške 1.5 m nad povrchom. Exponované papieriky sa extrahujú v laboratóriu etanolom a stanovuje sa spektrofotometricky pri vlnovej dĺžke 408 nm. Koncentrácia ozónu sa udáva v štandardných jednotkách ppb na deň resp. $\mu\text{g m}^{-3}$ prepočítané na deň. Z nameraných údajov sa vypočítali mesačné a ročné charakteristiky a štatistiky sa vyhodnotili.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

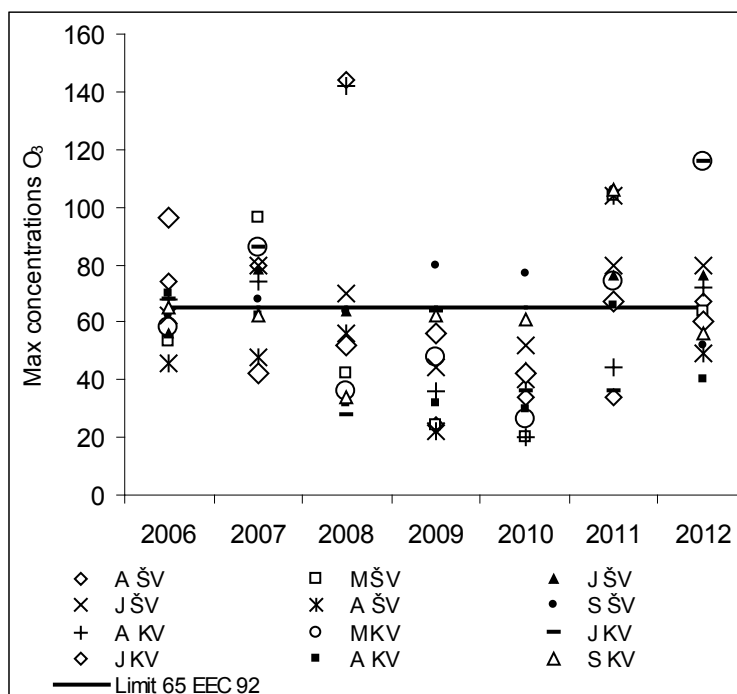
Priemerné ročné koncentrácie voľného ozónu sa na experimentálnej ploche v Štiavnických vrchoch pohybovali v rozmedzí od 36 do 77 $\mu\text{g m}^{-3}$ a v Kremnických od 42 do 84 $\mu\text{g m}^{-3}$. Časová medziročná variabilita sa prejavila nižšími ročnými koncentraciami v rokoch 2009 a 2010 na oboch lokalitách. Najvyššia priemerná ročná koncentrácia ozónu 84 $\mu\text{g m}^{-3}$ sa vyskytla v roku 2011 na ploche v Kremnických vrchoch. V rokoch 2011 (61) a 2012 (63 $\mu\text{g m}^{-3}$) boli vysoké ročné koncentrácie na celom území Slovenska; napr. na Chopku (Nízke Tatry) 96 a 93 $\mu\text{g m}^{-3}$ [12]. Vegetačné obdobia rokov 2011 a 2012 boli veľmi teplé a suché, podobne ako rok 2003, Graf 1.



Graf 1: Medziročný vývoj priemerných koncentrácií ozónu na výskumných plochách v Štiavnických a v Kremnických vrchoch (Západné Karpaty).
ŠV Štiavnické vrchy, KV Kremnické vrchy [$\mu\text{g m}^{-3}$]

Takmer po celý čas výskumu sa v oblastiach vyskytovali situácie s vysokými nadlimitnými dennými koncentraciami ozónu od 65 do 144 $\mu\text{g m}^{-3}$. Hodnoty od 68 do 96 $\mu\text{g m}^{-3}$, prekračujúce denný limit 65 $\mu\text{g m}^{-3}$, sa v roku 2007 vyskytovali na oboch plochách. Rok 2007, kedy bola priemerná ročná koncentrácia na Slovensku druhá najvyššia 62 $\mu\text{g m}^{-3}$, podľa SHMÚ [11] patrilo ku fotochemicky priaznivým. Najvyššie hodnoty 142 a 144 $\mu\text{g m}^{-3}$ boli na oboch plochách v apríli 2008. Ďalšie alarmujúce extrémne boli zaznamenané v roku 2011 (104 a 106 $\mu\text{g m}^{-3}$). V roku 2012 boli v Kremnických vrchoch zaznamenané extrémne 116 $\mu\text{g m}^{-3}$.

v máji a júni. Súvisí to s vysokou koncentráciou ozónu v zóne a kumulácie troposférického ozónu na dĺžkovej osi Európy, ktorá sa nachádza vo vrstve asi 800 a až 1500 m nad okolitým povrchom. Znepokojujúce je, že v Kremnických vrchoch sa hodnoty prekračujúce denný imisný limit $65 \mu\text{g m}^{-3}$ objavili v každom roku v výskumu. Výnimkou, keď neboli v Štiavnických vrchoch limit prekročený, boli len roky 2009 a 2010, Graf 2.



Graf 2: Maximálne koncentrácie ozónu na experimentálnych plochách v letných periódach (Apríl– September) medzi rokmi 2006 a 2012 porovnané s ekologickým limitom $65 \mu\text{g m}^{-3}$ pre vegetáciu /5/.

Pre zhodnotenie poznatkov koncentrácie ozónu a imisného limitu bola použitá hodnota $65 \mu\text{g m}^{-3}$ ($32,5 \text{ ppb deň}^{-1}$) stanovená EÚ v roku 1992 a ko 24 h priemerná koncentrácia /5/. Vysoké hodnoty ozónu boli v posledných rokoch merané v Taliansku /9/, Španielsku /3/, aj v celej strednej Európe /10/, vrátane Česka, kde boli vysoké hodnoty dosahované na viacerých miestach /7/. Extrémne epizódy s vysokými koncentraciami ozónu sú považované za nebezpečnejšie ohrožovanie vegetácie ako dlhodobé expozície s nízkymi koncentraciami /8/.

K zvýšeniu koncentrácie O_3 a zhoršeniu kvality ovzdušia prispievajú malým podielom lokálne z droje, ktoré sú emitované miestnymi zdrojmi VOCs a NO_x . Lokálnym dominantným zdrojom prekursorov O_3 v Európe je cestná doprava a tvorí 39 % z celkových emisií /6/. Vzhľadom k blízkosti lokálnej cestnej dopavy, je reálny predpoklad, že koncentrácie O_3 sú pod jej vplyvom na oboch výskumných plochách.

Z analýzy skutočných koncentrácií ozónu vo vidieckych lokalitách je zjavné, že zostávajú pomerne vysoké a diferencie sú najmä v časovom rozložení. Ich variabilita je značná v medziročnom a vegetačnom porovnaní.

Priestorová variabilita medzi lokalitami sa javí ako pomerne vyrovnaná aj vzhľadom na porovnateľnú nadmorskú výšku. Testovaním a analýzou v rámci nameraných hodnôt nebola preukázaná významnosť rozdielov na vyššej miere významnosti. Vysoké hodnoty ozónu sa obvykle vyskytujú v súvislosti s anticyklónalným charakterom počasia, ktorého pôsobenie existuje v tom istom čase na rozsiahlom území. Hoci nárast koncentrácií ozónu v sledovanom období sa jednoznačne nepreukázal, závažným a rizikovým sa ukazujú extrémne hodnoty. Výskyt

koncentracií ozónu, najmä vo forme extrémnych epizód, sa prejavil v súvislosti so zmenou klimatických charakteristík ako je teplota a zrážkový úhrn.

LITERATÚRA

- /1/ Bičárová S.: Sezónny priebeh nočných a denných koncentrácií prizemného ozónu na pozadovej stanici v Starej Lesnej. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): Bioklimatologické aspekty hodnotení procesů v krajině, Mikulov 9. – 11. 9. 2008. Český hydrometeorologický ústav, 2008: 12. ISBN 978-80-86690-55-1.
- /2/ Bičárová, S., Fleischer, P., Jakubják, O.: Ozónové znečistenie vzduchu. Ozone air pollution. In Bičárová, S., (ed.): Observatórium SAV Skalnaté pleso. Geofyzikálny ústav SAV, Stará Lesná, 2013: 54–58. ISBN 978-80-85754-29-2
- /3/ Castell, N., Antilla, E., Millan, M.M.: Analysis of tropospheric ozone concentration on a Western Mediterranean site: castellon (Spain). Environmental Monitoring and Assessment, 136, 2008: 3–11.
- /4/ Dueñas, C., Fernández, M.C., Cañete, S., Carretero, J., Liger, E.: Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast. The Science of the Total Environment, 299, 2002: 97–113.
- /5/ EC Council Directive 92/72/EEC. Official Journal of the European Communities, Commission of the European Communities L, 297, 1992: 1–4.
- /6/ EEA: Environmental signals 2004. European Environment Agency, Copenhagen, 2004: 31.
- /7/ Hůnová, I., Horálek, J., Schreiberová, M., Zapletal, M.: Ambient ozone exposure in Czech forests: A-GIS based approach to spatial distribution assessment. The Scientific World Journal, 2012, Article 123760: 10, doi:10.1100/2012/123760.
- /8/ Mortensen, N., Astrup-Birk, A., RO-Poulsen, H.: Critical levels of O₃ for wood production of European beech (*Fagus sylvatica* L.). Water and Soil Pollution, 85, 1995: 1349–1354.
- /9/ Paoletti, E.: Impact of ozone on Mediterranean forests: a review. Environmental Pollution, 144, 2, 2006: 463–474.
- /10/ Sanz, M.J., Calatayud, V., Sanchez-Peña, G.: Measures of ozone concentrations using passive sampling in forests of South Western Europe. Environmental Pollution, 145, 2007: 620–628.
- /11/ SHMÚ: Hodnotenie kvality ovzdušia v Slovenskej republike – 2007 [Evaluation of air quality in Slovak Republic 2007]. Bratislava, 2008: 84.
- /12/ SHMÚ: Regionálny program na zlepšenie kvality ovzdušia na území SR pri prizemnom zón. MŽP SR, Bratislava, 2013: 43.
- /13/ Šec, K., Skácel, F., Malec, L., Tekáč, V.: Study of factors initiating the origin and extinction of tropospheric ozone. Chemické listy, 101, 2007: 1051–1057.
- /14/ Werner, H.: Methodische Details für das Ozonmonitoring mit Indigopapieren. II Workshop zum Thema Integrale Messmethoden, Salzburg, AGRE ALP, AGRE ALPEN-AGRIA, 1991: 1–110.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (Projekty č. 2/0027/13, 2/0089/14).

TESTOVANIE TOLERANCIE KOREŇOV BÔBU OBYČAJNÉHO NA IÓNY KADMIA V ZÁVISLOSTI OD ANIÓNovej ZLOŽKY APLIKOVANÉHO ROZTOKU

EVALUATION OF TOLERANCE OF FABA BEAN ROOTS TO CADMIUM IONS DEPENDING ON ANION TYPE OF THE APPLIED SOLUTION

Roman Kuna, Lenka Karlová, Beáta Piršelová

Prírodovedecká fakulta, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Katedra botaniky a genetiky,
Nábřežie mládeže 91, 949 11, Nitra, Slovenská republika, bpirselova@ukf.sk

Summary

The aim of experiments was to compare the differences in tolerance of faba bean roots (cv. Aštar) to different concentrations of cadmium ions (50, 100, 150, 300 mg/l) and to evaluate the differences at applications of cadmium nitrate – $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ and cadmium chloride – CdCl_2 . The tested doses of Cd did not have effect on the seeds' germination. In case of nitrate primary roots were shortened by 11.83 % - 54.76 %, and in case of chloride by 18.64 % - 55.67 %. Fresh weight of roots was decreased by 39.63 % (300mg/l dose of Cd^{2+}) by 39.63 % (nitrate), and by 47.67 % (chloride). The highest decrease in dry mass was observed at the dose of 300 mg/l of CdCl_2 (by 40.00 %). Both used doses of cadmium had negative effect on growth of faba bean roots, however, no significant differences in the tested parameters depending on the applied form of cadmium were observed.

Key words: nitrate, chloride, cadmium, faba bean, root.

Súhrn

Cieľom experimentov bolo porovnať rozdiely v tolerancii koreňov bôbu obyčajného (cv. Aštar) na rôzne koncentrácie iónov kadmia (50, 100, 150, 300 mg/l) a posúdiť rozdiely v tolerancii pri aplikácii dusičnanu kademnatého - $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ a chloridu kademnatého - CdCl_2 . Testované dávky kadmia neovplyvnili klíčivosť semien, došlo však k výraznej inhibícii rastu primárnych koreňov. V prípade aplikácie $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ došlo ku skráteniu primárnych koreňov o 11,83 % – 54,76 % a v prípade CdCl_2 o 18,64 % – 55,67 %. Čerstvá hmotnosť koreňov bola dávkou 300 mg/l Cd^{2+} znížená o 39,63 % vplyvom aplikovaného dusičnanu a o 47,67 % vplyvom chloridu. V obsahu sušiny sme zaznamenali najväčší pokles v prípade dávky 300 mg/l CdCl_2 (o 40,00 %). Testované dávky kadmia ovplyvnili negatívne rast koreňov bôbu, výrazné rozdiely v testovaných parametroch sme však v závislosti od aplikovanej formy kadmia nezaznamenali.

Kľúčové slová: dusičnan, chlorid, kadmium, bôb, koreň.

ÚVOD

Kontaminácia pôd kadmium sa dostáva čoraz viac do pozornosti vedcov, nakoľko ióny Cd^{2+} sú intenzívne prijímané koreňmi väčšiny rastlinných druhov a toxicita týchto iónov je 2–20 násobne vyššia ako ostatných ťažkých kovov [1]. Mnohé aspekty fytotoxicity kadmia sú už objasnené, avšak vzťahy medzi inhibíciou rastu a fyziologickými procesmi v podmienkach vplyvu kadmia sú neustále diskutované najmä vzhľadom na to, že jeho toxické účinky sa

prejavujú v závislosti od rastlinného druhu resp. odrody, od koncentrácie iónov Cd^{2+} , od ich formy a prístupnosti v pôde, od dĺžky ich pôsobenia a taktiež od rôznych ďalších faktorov prostredia (pH pôdy, teplota, a i.).

Cieľom našich analýz bolo posúdiť vplyv rôznych koncentrácií kadmia na korene bôbu obyčajného (cv. Aštar) v podmienkach inkubácie rastlín vo vodnom roztoku iónov Cd^{2+} , pričom ďalším zámerom experimentovania bolo poukázať na možné rozdiely v tolerancii danej odrody pri aplikácii dvoch foriem kadmia (dusičnan a chlorid). Stanovenie tolerancie rastlinných druhov na nežiadúce zložky životného prostredia môže mať tiež význam z hľadiska aplikácie daných druhov vo fytoimediačných programoch.

MATERIÁL A METÓDY

Sterilizované semená (5% NaOCl) bôbu obyčajného sme nakličovali v Petriho miskách na dvojitej vrstve navlhčených filtračných papierov v tme. Nakličovaniu sme podrobili 20 semien, pričom sme aplikovali dve formy Cd^{2+} : dusičnan kademnatý – $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ a chlorid kademnatý – $CdCl_2$ v dávkach: 0 (kontrola), 50, 100, 150 a 300 mg Cd^{2+}/l . Nakličovanie prebiehalo pri teplote 25 °C 96 hodín. Po 4 dňoch nakličovania sme stanovili klíčivosť semien, oddelili koreňky od semien a stanovili nasledovné parametre: dĺžku hlavného koreňa a čerstvú hmotnosť koreňov. Následne sme stanovili obsah sušiny v koreňoch. Relatívny obsah vody (RWC) sme stanovili podľa vzťahu: $RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW}$, kde FW je čerstvá hmotnosť koreňov, DW je hmotnosť sušiny, TW je hmotnosť koreňov po nasýtení vo vode (po inkubácii cez noc).

Pri každom variante sme analyzovali 20 rastlín a pokus opakovali nezávisle trikrát.

Na spracovanie na meraných údajov bol použitý štatisticko-matematický program XLSTAT 2006 a na porovnanie mediánov skúmaných parametrov bol použitý Kruskal-Wallis (ANOVA) test.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Testovaná odroda bôbu vykázala na základe klíčivosti semien vysokú toleranciu na ióny kadmia, pričom sme nezaznamenali žiadne zmeny v závislosti od aplikovanej formy kadmia (Tab. 1). Výskumy viacerých autorov však poukazujú na inhibíciu klíčenia semien rastlín vplyvom testovaného iónu ťažkého kovu [2, 3]. Na druhej strane však môžu ióny kadmia aplikované v nižších dávkach klíčivosť semien stimulovať [4, 5]. Klíčivosť semien však podľa niektorých autorov [6, 7] nie je najvhodnejším ukazovateľom citlivosti rastlín na stresové faktory.

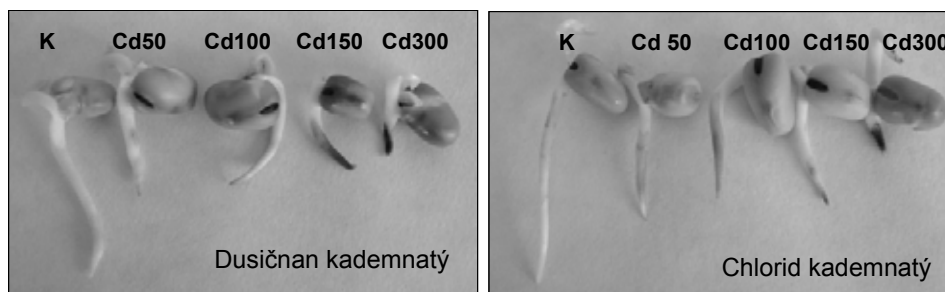
V ďalšej fáze experimentu sme merali dĺžku koreňov, ako ďalší ukazovateľ citlivosti resp. tolerancie na ióny Cd^{2+} . V prípade všetkých aplikovaných dávok kadmia sme zaznamenali inhibíciu rastu koreňov (Obr. 1, Tab. 1), pričom okrem dávky Cd 50 boli tieto zmeny štatisticky významné. Najcitlivejšie reagovali korene na dávku 300 mg/l Cd^{2+} , ktorá v prípade dusičnanu inhibovala rast koreňov o 54,76 % a pri použití chloridu o 55,67 % (Tab. 1).

Z vizuálnych symptómov toxicity kadmia sme okrem skrátenia primárnych koreňov zaznamenali aj ich hne dnutie, ktorého intenzita bola približne rovnaká v prípade aplikácie dusičnanu i chloridu (Obr. 1).

Štatisticky významné zmeny vplyvom vyšších dávok kadmia sme zaznamenali aj v prípade čerstvej hmotnosti koreňov a hmotnosti sušiny (Tab. 1). Konkrétne, v prípade aplikovaného dusičnanu (Cd 50–300) došlo k zníženiu čerstvej hmotnosti o 3,66–39,63 % a v prípade chloridu sme zaznamenali zníženie hmotnosti oproti kontrolnému variantu o 6,98 – 47,67 %.

Najväčší pokles sušiny oproti kontrolnému variantu sme zaznamenali pri dávke 300 mg/l (o 21,43 % v prípade dusičnanu a o 40,00 % v prípade aplikovaného chloridu) (Tab. 1).

Zvýšená citlivost' koreňov je zrejme daná tým, že koreňový systém ako prvý prichádza do kontaktu s kontaminovanou pôdou, a lebo v n ašom prípade kontaminovaným roztokom a preto dochádza k z výšenej akumulácii ťažkých kovov v koreňoch. Pokles biomasy koreňov vplyvom kadmia zaznamenali viacerí autori /8–11/.



Obr 1: Vplyv iónov Cd^{2+} na rast koreňov bôbu obyčajného.

Tab. 1: Vplyv kadmia aplikovaného vo forme dusičnanu ($Cd\ 50 - Cd\ 300/NO_3^-$) a chloridu ($Cd\ 50 - Cd\ 300/Cl^-$) na fyziologické parametre koreňov bôbu obyčajného

	klíčivosť (%)	dĺžka (cm)	FW (g)	DW (g)	RWC (%)
K/ NO_3^-	100,00 ± 0,00 A	3,89 ± 0,95 D	0,164 ± 0,032 CD	0,014 ± 0,000 C	83,74 ± 4,98 A
Cd50/ NO_3^-	99,00 ± 0,03 A	3,43 ± 1,01 CD	0,158 ± 0,028 CD	0,014 ± 0,000 BC	87,46 ± 6,59 AB
Cd100/ NO_3^-	100,00 ± 0,00 A	3,04 ± 0,93 BC	0,153 ± 0,028 BC	0,014 ± 0,001 BC	86,62 ± 4,65 AB
Cd 150/ NO_3^-	100,00 ± 0,00 A	2,69 ± 0,87 B	0,140 ± 0,033 B	0,013 ± 0,000 ABC	85,42 ± 11,90 AB
Cd 300/ NO_3^-	99,00 ± 0,03 A	1,76 ± 0,63 A	0,099 ± 0,034 A	0,011 ± 0,002 AB	86,98 ± 0,38 AB
K/ Cl^-	100,00 ± 0,00 A	3,97 ± 1,17 D	0,172 ± 0,031 D	0,015 ± 0,001 C	83,50 ± 1,15 A
Cd 50/ Cl^-	100,00 ± 0,00 A	3,23 ± 0,91 C	0,160 ± 0,034 CD	0,014 ± 0,002 ABC	86,47 ± 7,85 AB
Cd 100/ Cl^-	100,00 ± 0,00 A	2,95 ± 0,78 BC	0,150 ± 0,033 BC	0,014 ± 0,001 C	85,30 ± 0,01 AB
Cd 150/ Cl^-	100,00 ± 0,00 A	2,71 ± 0,85 B	0,154 ± 0,032 BC	0,014 ± 0,001 BC	92,31 ± 1,01 B
Cd 300/ Cl^-	100,00 ± 0,00 A	1,76 ± 0,70 A	0,090 ± 0,022 A	0,009 ± 0,001 A	88,05 ± 6,18 AB

Hodnoty zodpovedajú aritmetickému priemeru ± štandardná odchýlka. Rôzne písmená medzi sledovanými s úbormi v yjadrujú š taticky významný r ozdiel pr i $p < 0,05$. K – kontrola, FW – čerstvá hmotnosť, DW – sušina, RWC – relatívny obsah vody.

Na základe čerstvej hmotnosti koreňov a hmotnosti sušiny po 24 hodín inkubácie koreňov v destilovanej vode s me ná sledne s tanovili r elatívny bs ah vod y (RWC). R WC je užitočným indikátorom vodnej bilancie rastlín, pretože v yjadruje c elkové m nožstvo vod y, ktoré rastlina potrebuje na dosiahnutie plnej saturácie. Vplyvom oboch foriem aplikovaných dávok kadmia sme zaznamenali mierny š taticky významný nárast RWC, pričom tento nárast ne bol z ávislý od stúpajúcej k oncentrácie k admia (Tab. 1). Zvýšené hodnot y R WC vplyvom kadmia vysvetľujú niektorí autori stratou turgoru buniek vplyvom zníženej elasticity bunkových stien /12/.

Testovaním vplyvu rôznych dávok kadmia na korene bôbu s me došli k záveru, že ióny kadmia negatívne ovplyvnili najmä predĺžovací rast koreňov už pri dávke 50 mg/l. Vplyvom aplikovaných dá vok k admia doš lo k nárastu hodnôt RWC. Š taticky významné rozdiely v testovaných parametroch sme v závislosti od aplikovanej formy kadmia nezaznamenali (Tab. 1). Uvedená skutočnosť poukazuje na možné porovnávanie tolerance rastlín na ióny kadmia testovaných v podmienkach aplikácie $Cd(NO_3)_2$ a $CdCl_2$.

LITERATÚRA

- /1/ Jagodin, B., G. G. Gorina, V. V. Vinogradova, S. S. Zamarayev, A. Chhapovskaja, G.: Cadmium and lead accumulation in some agricultural crops, grown in podzolic soils. *Izvestija TSHA*, 2, 1995: 85–99.
- /2/ Azmat, R., Zill-E-Huma, Hayat, A., Khanum, T., Talat, R.: The inhibition of bean plant metabolism by cadmium metal: Effects of cadmium metal on physiological process of bean plant and Rhizobium species. *Pakistan Journal of Biological Science*, 8, 2005: 401–404.
- /3/ Rahoui, S., Chaoui, A., El Ferjani, E.: Differential sensitivity to cadmium in germinating seeds of three cultivars of faba bean (*Vicia faba* L.). *Acta Physiologia Plantarum*, 30, 2008: 451–456.
- /4/ Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons, J.G.: Uptake and effect of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66, 2001: 727–734.
- /5/ Jeliakovska, E.A., Craker, L.E.: Seed germination of some medicinal and aromatic plants in a heavy metal environment. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 10, 2003: 105–112.
- /6/ Kapustka, L.A., Lipton, J., Galbraith, H., Cabela, D., Lejeune, K.: Metal and arsenic impacts to soil, vegetation communities and wildlife habitat in southwest Montana uplands contaminated by smelter emissions: II. Laboratory phytotoxicity studies. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 14, 1995: 1905–1912.
- /7/ Luan, Z.Q., Cao, H.C., Yan B.X.: Individual and combined phytotoxic effects of cadmium, lead and arsenic on soybean in Phaeozem. *Plant Soil and Environment*, 54, 2008: 403–411.
- /8/ Brune, A.: A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel and zinc concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 36, 1995: 853–868.
- /9/ Kochlar, S., Ahmad, G., Kochlar, V.K.: Amelioration of Cd⁺⁺ toxicity by Ca⁺⁺ on germination, growth and changes in anti-oxidant and nitrogen assimilation enzymes in mungbean (*Vigna mungo*) seedlings. *Journal of Plant Biotechnology*, 6, 2004: 259–264.
- /10/ Shi, G., Cai, Q.: Leaf plasticity in peanut (*Arachis hypogaea* L.) in response to heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 2009: 112–117.
- /11/ Rodriguez-Serrano, M., Romero-Puertas, M.C., Pazmino, D.M., Testillano, P.S., Risueno, M.C., Del Rio, L.A., Sandalo, L.M.: Cellular Response of Pea Plants to Cadmium Toxicity: Cross talk between reactive oxygen species, nitric oxide, and calcium. *Plant Physiology*, 150, 2009: 229–243.
- /12/ Barcelo, J., Vazquez, M., Poschenrieder, C.H.: Structural and ultrastructural disorders in cadmium-treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *New Phytology*, 108, 1988: 37–49.

Pod'akovanie

Práca bola podporená výskumnými zámermi VEGA 1/0509/12, KEGA 044UKF-4/2012 a výskumným zámerom Európskeho spoločenstva v rámci projektu: V ybudovanie výskumného centra „AgroBioTech“, projekt číslo 26220220180.

VPLYV KADMIA NA TRANSLOKÁCIU ŽELEZA V PLETIVÁCH BÔBU OBYČAJNÉHO (VICIA FABAE CV. AŠTAR)

INFLUENCE OF CADMIUM ON IRON TRANSLOCATION IN TISSUES OF FABAE BEAN (VICIA FABAE CV. AŠTAR)

Beáta Piršelová, Roman Kuna

Prírodovedecká fakulta, Univerzita K onštantina Filozofa v Nitre, Katedra botaniky a geobotaniky,
Nábřežie mládeže 91, 949 11, Nitra, Slovenská republika, bpirselova@ukf.sk

Summary

We examined the effect of two concentrations of cadmium (50 and 100 mg Cd²⁺/kg of soil) on selected growth parameters and content of iron in roots and shoots of faba bean. The examined parameters were determined after 10 days of application of the heavy metal. The used doses of cadmium caused statistically significant decrease of dry mass content in roots by 32.2 % (Cd 50) and 33.3 % (Cd 100). Increase in the content of cadmium was observed in roots (125- and 173 - fold the control) and also in shoots (125- and 150 - fold the control). In response to the applied doses of cadmium, the content of iron changed only in case of roots (5- and 2.4 - fold increase of values against the control).

Key words: heavy metals, faba bean, iron, tolerance

Súhrn

Sledovali sme vplyv dvoch koncentrácií kadmia (50 a 100 mg Cd²⁺/kg pôdy) na vybrané rastové parametre a obsah železa v koreňoch a výhonkoch bôbu obyčajného (*Vicia faba* cv. Aštar). Sledované parametre boli stanovené 10 deň po aplikácii ťažkého kovu. Testované dávky kadmia spôsobili štatisticky významné zníženie obsahu sušiny v koreňoch o 32,2 % (Cd 50) a 33,3 % (Cd 100). Zvýšenie obsahu kadmia sme zaznamenali v koreňoch (125 a 173 násobok kontroly) aj výhonkoch (125 a 150 násobok kontroly). Vplyvom aplikovaných dávok kadmia došlo k zmenám v obsahu železa iba v prípade koreňov (5 a 2,4 násobné zvýšenie hodnôt oproti kontrole).

Kľúčové slová: ťažké kovy, bôb, železo, tolerancia

ÚVOD

Zo všetkých kovov, ktoré sa vo veľkých množstvách uvoľňujú do životného prostredia, sa najviac pozornosti sústreďuje na kadmium (Cd), ktoré najväčšmi zasahuje do ľudského potravinového reťazca. Hoci toxické účinky kadmia na biologické systémy popísali viacerí autori [1–4], niektoré mechanizmy toxického účinku doteraz nie sú známe.

Zníženie obsahu železa vo výhonkoch je jedným z najvýznamnejších a spektrov toxického účinku kadmia, nakoľko dochádza k výraznej inhibícii fotosyntézy. Toxický vplyv Cd vedie k zníženiu aktivity reduktáz na chádžajúcich sa v membránach koreňových buniek, ktorých funkciou je redukovať Fe³⁺ na rastlinám prístupnú formu Fe²⁺. Nedostatočná aktivita reduktáz vedie k deficiencii Fe. Interakcia Cd/Fe má veľký dopad aj na transport elektrónov v fotosystémoch (PS I a PS II). Nedostatok Fe vyvolaný kadmiovým stresom limituje aktivitu prenášačov elektrónov, nakoľko mnohé jeho zložky obsahujú ako komponenty práve železo [5].

Ďalším aspektom vplyvu kadmia na metabolizmus železa je súťaživosť iónov Fe^{2+} a Cd^{2+} o rovnaký membránový transportér v rastlinných bunkách /6/.

Cieľom našich experimentov bolo posúdiť citlivosť vybranej odrody bôbu voči iónom kadmia na základe rastových parametrov a posúdiť vplyv kadmia na translokáciu železa v pletivách danej odrody.

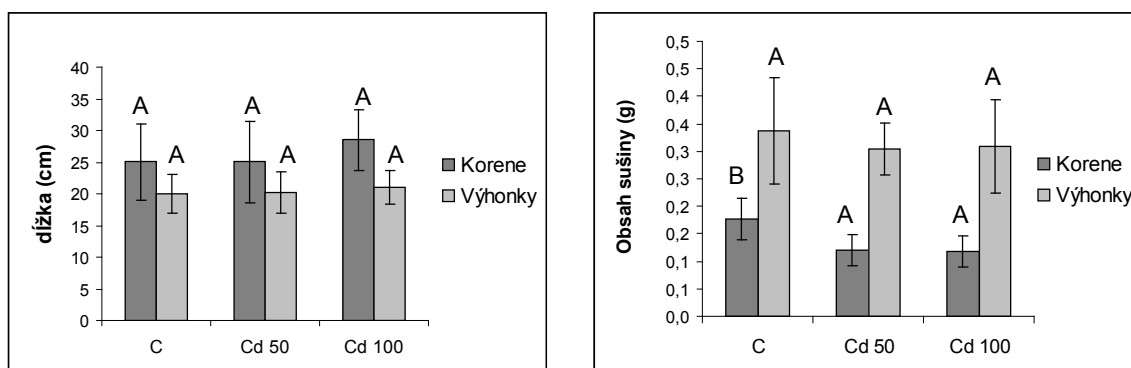
MATERIÁL A METÓDY

Semená bôbu obyčajného (*Vicia faba* cv. A štar) boli s terilizované 5 % roztokom chlórnanu sodného (SAVO) počas 5 min a vysiate do zmesi pôdy (BORA, pH 6–7, 1,0 % N; 0,3 % P_2O_5 ; 0,4 % K_2O) a perlitu (4:1). Rastliny boli pestované v rastovej komore za presne definovaných podmienok (20 °C, 12 h svetlo/12 h tma (osvetlenie 2500 lx) a relatívna vlhkosť vzduchu 60–70 %). Zavlažovanie prebiehalo každý druhý deň na úroveň 60 % nasýtenia pôdneho substrátu. Vo fáze vytvorenia prvých asimilačných listov bolo do pôdy aplikované kadmium v dvoch koncentráciách (50 a 100 mg/kg pôdy) v ďalšom označovaných ako Cd 50 a Cd 100. Ťažký kov bol aplikovaný vo forme dusičnanu $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. 10 dní po aplikácii iónu kovu boli stanovené rastové parametre (dĺžka, čerstvá hmotnosť koreňa a výhonku, obsah sušiny). Obsah železa v koreňoch a výhonkoch bol stanovený po následnej mikrovlnnej mineralizácii (Mars Xpress, CEM Corporation) metódou atómovej absorpčnej spektrometrie (AAS, Perkin Elmer 1100B). Experimenty boli uskutočnené v troch nezávislých opakovaníach, pričom v rámci každého opakovania bolo analyzovaných 5–8 rastlín.

Na spracovanie nameraných údajov bol použitý štatistický program XLSTAT 2006. Na porovnanie mediánov s kumulovaných parametrov bol použitý Kruskal-Wallis test (ANOVA) test a t-test.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Namerané hodnoty rastových parametrov s tresovaných rastlín bôbu obyčajného sú uvedené v Grafe 1. Z nich vyplýva, že testované dávky kadmia spôsobili mierny nárast dĺžky koreňa (o 12 % v prípade vyššej dávky Cd) a výhonkov (o 1,35 % a 5,08 %), čo mohlo byť dôsledkom účinku iónov NO_3^- . Stimulačný účinok NO_3^- iónov na rast výhonkov potvrdili aj iní autori /7/. Štatisticky významné zmeny sme zaznamenali v prípade sušiny koreňov (pokles obsahu o 32,2 % a 33,3 % v prípade nižšej a vyššej dávky) v súlade s výsledkami experimentov iných autorov /1, 8, 9/. Zvýšená citlivosť koreňov je zrejme daná zvýšenou akumuláciou kovu v koreňoch.



Graf 1: Namerané hodnoty dĺžky koreňov a výhonkov a stanovený obsah sušiny. C – kontrola, Cd 50 a Cd 100 – aplikovaná dávka kadmia vyjadrená v mg/kg pôdneho substrátu. Rôzne písmená v grafoch vyjadrujú štatisticky významný rozdiel medzi súbormi pri $P < 0,05$.

Z vizuálních symptómov toxického účinku kadmia (chloróza listov, fialovo-hnedé škvrny na listoch, hnednutie koreňov) sme pri aplikovaných dávkach kadmia žiadne nezaznamenali.

S narastajúcou koncentráciou aplikovaného kovu došlo ku zvýšenej akumulácii kadmia v koreňoch (125 a 173 násobok kontroly) i výhonkoch bôbu (125 a 150 násobok kontroly) (Tab. 1). Mnohé štúdie poskytujú presvedčivé dôkazy, že zapríčliv Cd^{2+} iónov do koreňových buniek je primárne zodpovedný transportér železa IRT1 /10–13/. Činnosť transportéru IRT1 je zároveň regulovaná iónmi NO_3^- čo naznačuje možný vplyv NO_3^- na akumuláciu kadmia v rastlinách prostredníctvom regulácie príjmu Fe koreňovým systémom. Daná hypotéza bola potvrdená aj experimentami s rajčinou /14/.

Zvýšenú akumuláciu železa sme zaznamenali iba v prípade koreňov (1,45 a 1,69 násobok kontroly) pri aplikácii nižšej a vyššej dávky Cd, vo výhonkoch sme na merali približne rovnaký obsah železa tak v kontrolných ako aj stresovaných vzorkách (Tab. 1).

Tab.1: Vplyv kadmia na obsah železa v koreňoch a výhonkoch stresovaných rastlín.

	Korene		Výhonky	
	Cd $\mu\text{g.g}^{-1}$ sušiny	Fe mg.g^{-1} sušiny	Cd $\mu\text{g.g}^{-1}$ sušiny	Fe mg.g^{-1} sušiny
Kontrola	0,50 ± 0,01	1035,00 ± 103,00	0,11 ± 0,03	117,33 ± 1,53
Cd 50	62,26 ± 9,61***	1503,00 ± 175,00 *	13,73 ± 3,27 **	107,50 ± 0,71
Cd 100	86,40 ± 0,99 ***	1754,00 ± 104,00 **	16,53 ± 4,37 **	118,67 ± 11,72

Údaje z odpovedajú aritmetickému priemeru ± s merodajná odc hýlka. Dávky kadmia sú uvedené v mg.kg^{-1} pôdneho substrátu. Štatisticky významné rozdiely: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Otázkou diskusie je vplyv NO_3^- iónov na sledované mechanizmy, nakoľko na jednej strane môžu dané ióny pôsobiť stimulačne na rast, na strane druhej podporujú vstup iónov Cd^{2+} do koreňového systému, čím nepriamo zasahujú aj do metabolizmu železa /14 – 16/. Vysoká tolerancia danej odrody na testované dávky kadmia stanovená na základe rastových ukazovateľov je v súlade s mechanizmami podporujúcimi nezmienený obsah železa vo výhonkoch, čo sa odrazilo aj na nezmenenom habituse výhonkov sledovaných rastlín. Výsledky meraní obsahu fotosyntetických pigmentov a ďalších analýz môžu odhaliť ďalšie súvislosti vysvetľujúce toleranciu danej odrody bôbu na ióny kadmia.

LITERATÚRA

- /1/ Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A., Forestier, C.: Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *The Plant Journal*, 32, 2002: 539–548.
- /2/ Hall, J.L.: Cellular mechanism for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002: 1–11.
- /3/ Metwally, A., Safranová, V.I., Belimov, A.A., Dietz, K.J.: Genotypic variation of the responses to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L. In *Journal of Experimental Botany*, 56, 2005: 167–78.
- /4/ Benavides, M.P., Gallego, S.M., Tamaro, L.M.: Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 2005: 21–34.
- /5/ Parmar, P., Kumari, N., Sharma, V.: Structural and functional alterations in photosynthetic apparatus of plants under cadmium stress. *Botanical Studies*, 2013, 54: 45.
- /6/ Kovacs, K., Kuzmann, E., Vertes, A., Levai, L., Cseh, E., Fodor, F.: Effect of cadmium on iron uptake in cucumber roots: a Mossbauer-spectroscopic study. *Plant and Soil*, 327, 2010: 49–56.
- /7/ Pinto, A.P., Mota, A.M., De Varennes, A., Pinto, F.C.: Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment*, 326, 2004: 239–247.

- /8/ Kochlar, S., Ahmad, G., Kochlar, V.K.: Amelioration of Cd⁺⁺ toxicity by Ca⁺⁺ on germination, growth and changes in anti-oxidant and nitrogen assimilation enzymes in mungbean (*Vigna mungo*) seedlings. *Journal of Plant Biotechnology*, 6, 2004: 259–64.
- /9/ Rodriguez-Serrano, M., Romero-Puertas, M.C., Pazmino, D.M., Testillano, P.S., Risueno, M.C., Del Rio, L.A., Sandalio, L.M.: Cellular response of pea plants to cadmium toxicity: cross talk between reactive oxygen species, nitric oxide, and calcium. *Plant Physiology*, 150, 2009: 229–243.
- /10/ Vert, G., Grotz, N., Dédaldéchamp, F., Gajmard, F., Guerinot, M.L., Briat, J.F., Curie, C.: IRT1, an Arabidopsis transporter essential for iron uptake from the soil and plant growth. *The Plant Cell*, 14, 2002: 1223–1233.
- /11/ Clemens, S.: Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88, 2006: 1707–1719.
- /12/ Verbruggen, N., Hermans, C., Schat, H.: Mechanisms to cope with arsenic or cadmium excess in plants. *Current Opinion of Plant Biology*, 12, 2009: 364–372.
- /13/ Lux, A., Martinka, M., Vaculik, M., White, P.J.: Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of Experimental Botany*, 62, 2011: 21–37.
- /14/ Luo, B.F., Du, S.T., Lu, K.X., Liu, W.J., Lin, X.Y., Jin, C.W.: Iron uptake system mediates nitrate-facilitated cadmium accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *Journal of Experimental Botany*, 63, 2012: 3127–36.
- /15/ Fodor, F., Cseh, E., Varga, A., Zaray, Gy: Lead uptake, distribution and remobilization in cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 1998: 1363–1373.
- /16/ Liu, J., Reid, R.J., Smith, F.A.: The mechanism of cobalt toxicity in mung beans. *Physiologia Plantarum*, 110, 2000: 104–110.

Pod'akovanie

Práca bola podporená výskumnými zámermi VEGA 1/0509/12, KEGA 044UKF-4/2012 a výskumným zámerom Európskeho spoločenstva v rámci projektu: Vybudovanie výskumného centra „AgroBioTech“, projekt číslo 26220220180.

VÝVOJ AGROKLIMATICKÝCH PODMÍNEK V ČESKÉ REPUBLICE

THE COURSE OF AGROCLIMATIC CONDITIONS IN THE CZECH REPUBLIC

Hana Středová¹, Tomáš Středa¹, Filip Chuchma³

¹Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Zemědělská 1, Brno, 613 00, Česká republika, hana.stredova@mendelu.cz,

²Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, Brno, 616 67, Česká republika.

Summary

The article assesses changes in agroclimatic characteristics used to define climatic regions within the estimated pedological ecological unit system. Spatially compared are the categories of annual average daily temperatures sum $\geq 10^{\circ}\text{C}$, the average annual air temperature, the moisture certainty and probability of dry vegetation period. The average values for the period 1901 – 1950 and 1961 – 2010 were used. Temperature sum and average annual temperature increased in the second period. Moisture certainty decreased in the second period. Comparison of probability of dry vegetation period showed almost no change. The changes are given by development of the climatic characteristics and by the use of advanced automated measurement methods.

Key words: meteorological elements, climate, soil, precipitation, air temperature, climate development

Souhrn

Vyhodnoceny jsou změny agroklimatických charakteristik použitých pro vymezení klimatických regionů v rámci systému bonitovaných půdně ekologických jednotek. Plošně srovnány jsou kategorie sum průměrných denních teplot vzduchu $\geq 10^{\circ}\text{C}$, průměrné roční teploty vzduchu, vláhové jistoty a pravděpodobnosti výskytu suchých vegetačních období. Hodnoceny jsou průměrné hodnoty za období 1901 – 1950 a 1961 – 2010. U teplotní sumy a průměrné roční teploty vzduchu je ve druhém období patrný nárůst plochy území v nejteplejší kategorii. Vláhová jistota zaznamenala ve druhém období pokles výměry kategorie charakterizující vlhčí oblasti. Pro pravděpodobnost suchých vegetačních období srovnání dvou období neprokázalo téměř žádnou změnu. Příčiny změn tkví především ve vývoji klimatických charakteristik v důsledku změny klimatu.

Klíčová slova: meteorologické prvky, klima, půda, srážky, teplota vzduchu, vývoj klimatu

ÚVOD

Přibližně od počátku 19. století je globálně zaznamenáván nárůst teplot vzduchu, postupně se mění i charakter atmosférických srážek. Očekává se, že tento trend bude pokračovat. Výkyvy počasí, v jejichž důsledku dochází k extrémním stavům typu povodní a sucha, budou stále častější a intenzivnější s tím, že dopady se v různých regionech projevují odlišně. Klimatické změny vedoucí k růstu teploty a změně v distribuci srážek ve výhledu do konce 21. století pro území České republiky popisují například /3/.

Rostlinná produkce je limitována klimatickými podmínkami oblasti a významně ovlivňována ročníkovými meteorologickými vlivy. Proto je nutné vycházet ze znalostí nejen průměrných hodnot klimatických prvků, ale také geneze a dynamiky meteorologických prvků

v čase. Použití klasických klimatických charakteristik pro účely hodnocení vlivu klimatu na produkční potenciál zemědělských plodin není často optimální.

Agroklimatická rajonizace území ČR vychází z vlivu klimatických prvků na biologii zemědělských plodin. Zpracována byla v roce 1975 v publikaci „Agroklimatické podmínky ČSSR“ /1/. Pro vyhodnocení byly použity údaje z normálového období 1931 až 1960. Území ČR bylo při agroklimatické rajonizaci rozčleněno na: agroklimatické makroblasti, oblasti, podoblasti a okrsky podle tří základních agroklimatologických ukazatelů, a to teplotní sumy nad 10 °C, vláhových podmínek vegetačního období a podmínek přezimování.

Dlouhodobé klimatické faktory, významné z agronomického hlediska, zohledňuje i klimatická rajonizace pro potřeby bonitace půdy. Ta přihlíží především k faktorům výrazně ovlivňujícím úroveň a kvalitu produkce, projevujícím se v průběhu vegetačního období (VO) zemědělských plodin (měsíce duben až září). Vymezení bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) bylo provedeno v letech 1973 až 1980 na základě Komplexního průzkumu půd ČR /2/. V návaznosti na určený počet míst kódu BPEJ bylo v závěru hodnocení vyčleněno 10 klimatických regionů (KR) označených číslem 0 – 9. Jako podklad pro klimatickou rajonizaci v rámci systému BPEJ byla použita data z období 1901 – 1950. Základními kritérii pro vymezení KR byly, s ohledem na tehdejší stupeň poznání a grafické i statistické možnosti interpretace výsledků, zvoleny ukazatele: suma průměrných denních teplot vzduchu rovných nebo vyšších 10 °C (TS10); průměrné roční teploty vzduchu a průměrné teploty vzduchu ve VO; průměrný roční úhrn srážek; vláhová jistota ve VO; pravděpodobnost výskytu suchých VO v % (tj. procento výskytu let, kdy srážky ve VO nedosáhly nebo právě dosáhly vypočtené hranice sucha).

S ohledem na vývoj techniky, automatizaci měření, možnosti dálkového přenosu dat, využití dálkového průzkumu Země apod. se mění metodiky meteorologických měření. Zásadní změnu přineslo zavedení automatických měření, kdy jsou naměřené údaje dány přepočtem elektrických veličin. Došlo nejen ke zvýšení četnosti měření, ale také ke zvýšení jejich přesnosti. Výměna manuálních stanic automatickými probíhala postupně od roku 1997. Standardní termínová měření jsou nahrazena kontinuálním monitoringem s intervaly záznamu 15 resp. 10 minut. Automatická měření umožňují záznam, zpracování, kontrolu a hodnocení dat v reálném čase a v případě poruchy čidla bezodkladnou opravu. Rozvoj výpočetní techniky a výrazný posun modelování klimatických charakteristik umožnil také vznik tzv. „technické řady klimatických dat“ od roku 1961 (dále jen TR), která byla po roce 2010 vytvořena na ČHMÚ /7/. 787 bodů TR pokrývá celé území ČR v gridové síti 10 krát 10 km. Pro případnou simulaci vývoje klimatu na základě předpokladu emisního scénáře A1B byla tato řada prodloužena až do roku 2100. Vybrané agroklimatické charakteristiky je možné úspěšně modelovat a předpovídat s využitím sofistikovaných agroklimatických modelů.

Z výše uvedeného vyplývá, že v současné době, tj. cca po 60 letech od skončení referenčního období použitého pro vymezení jednotlivých KR, vyvstává potřeba aktualizace stávající metodiky vymezování KR. Problematika aktualizace KR byla řešena v pracích /8/, /4/, /5/ a /6/.

MATERIÁL A METODA

Na základě mapy vymezující původní KR byly pro obě období určeny plochy oblastí s jednoznačně definovatelnými nepřekrývajícími se hranicemi intervalů jednotlivých charakteristik – viz grafické vyjádření pomocí červených oválů v Tab. 1. Pomocí tohoto postupu je možno vyjádřit a následující kategorie:

pro TS10: 1. nad 3100 (pro období 1901 – 1950 žádná plocha); 2. 2800–3100 (odpovídá KR 0); 3. 2200–2800 (odpovídá KR 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7); 4. 2000–2200 (odpovídá KR 8); 5. pod 2000 (odpovídá KR 9).

Pro průměrnou roční teplotu vzduchu: 1. pod 5 °C (KR 9); 2. 5–6 °C (KR 8); 3. 6–9 °C (KR 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7); 4. 9–10 °C (KR 0); 5. nad 10 °C.

Pro průměrný roční srážkový úhrn se všechny intervaly se překrývají, proto nebylo možno tuto charakteristiky tímto způsobem hodnotit.

Pro vláhovou jistotu: 1. 0–4 (KR 0, 1, 2, 4); 2. 4–10 (KR 5, 3); 3. pod 10 (KR 6, 7, 8, 9).

Pro pravděpodobnost výskytu suchých VO: 1. 0–30 (KR 9, 8, 7, 6, 5, 3, 2); 2. 30–60 (KR 0, 1, 4).

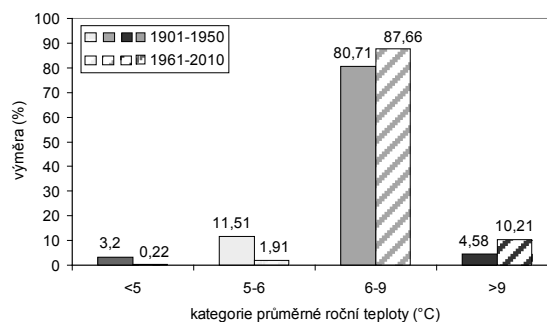
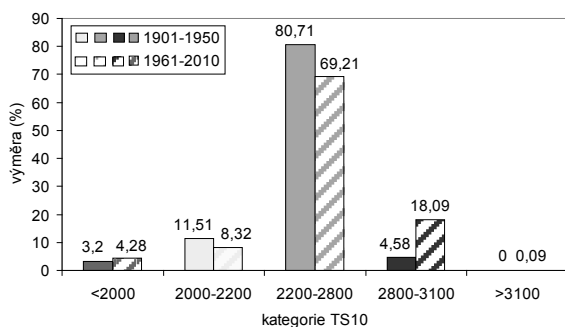
Následným vyjádřením těchto kategorií pro gridové body TR (popsané v úvodu) pro období 1961 – 2010 je možno demonstrovat prostorové změny charakteristik definujících KR.

Tab.1: Vyznačení hranic jasně vymezených intervalů jednotlivých charakteristik KR na příkladu TS10

Kód regionu	Symbol regionu	Charakteristika regionu	Suma teplot nad 10 °C	Průměrná roční teplota °C	Průměrný roční úhrn srážek v mm	Pravděpodobnost suchých vegetačních období	Vláhová jistota
0	VT	velmi teplý, suchý	2800 - 3100	9 - 10	500 - 600	30 - 50	0 - 3
1	T 1	teplý, suchý	2600 - 2800	8 - 9	< 500	40 - 60	0 - 2
2	T 2	teplý, mírně suchý	2600 - 2800	8 - 9	500 - 600	20 - 30	2 - 4
3	T 3	teplý, mírně vlhký	2500 - 2800	(7) 8 - 9	550 - 650 (700)	10 - 20	4 - 7
4	MT 1	mírně teplý, suchý	2400 - 2600	7 - 8,5	450 - 550	30 - 40	0 - 4
5	MT 2	mírně teplý, mírně vlhký	2200 - 2500	7 - 8	550 - 650 (700)	15 - 30	4 - 10
6	MT 3	mírně teplý (až teplý), vlhký	2500 - 2700	7,5 - 8,5	700 - 900	0 - 10	> 10
7	MT 4	mírně teplý, vlhký	2200 - 2400	6 - 7	650 - 750	5 - 15	> 10
8	MCH	mírně chladný, vlhký	2000 - 2200	5 - 6	700 - 800	0 - 5	> 10
9	CH	chladný, vlhký	< 2000	< 5	> 800	0	> 10

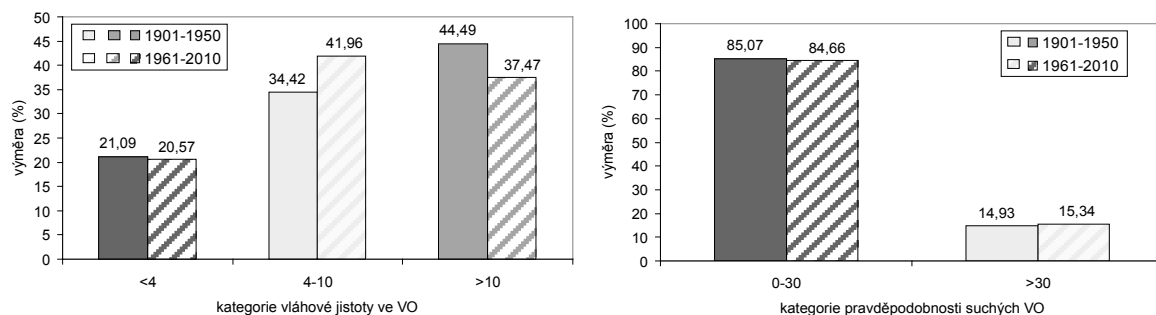
VÝSLEDKY A DISKUSE

Grafy 1 až 4 prezentují srovnání ploch jednotlivých kategorií dílčích charakteristik KR pro dvě padesátiletí 1901 – 1950 a 1961 – 2010. U TS10 je ve druhém padesátiletí patrný markantní nárůst plochy území v kategorii nad 2800 °C a to cca o 14 %. Zvyšuje se také výměra území s průměrnou roční teplotou vzduchu 6 až 9 °C (což zahrnuje dominantní část ČR) a nad 9 °C, kde došlo k nárůstu cca o 5 % plochy. Vláhová jistota ve VO, počet mm srážek připadající na jeden °C nad definovanou hranicí sucha, zaznamenala ve druhém padesátiletí pokles výměry v kategorii nad 10 (tj. kategorie charakterizující vlhčí oblasti). Pro pravděpodobnost suchých VO bylo možno vymežit pouze dvě kategorie. Srovnáním hodnot pro obě padesátiletí neprokázalo téměř žádnou změnu. Kombinace vyšších teplot vzduchu při zachování srážkových úhrnů přispívá ke zvyšování rizika výskytu sucha s případnými negativními důsledky na růst, vývoj, výnosy a kvalitu rostlinné produkce.



Graf 1: Výměra jednotlivých kategorií TS10 (vlevo).

Graf 2: Výměra jednotlivých kategorií průměrné roční teploty vzduchu (vpravo).



Graf 3: Výměra jednotlivých kategorií vláhové jistoty ve VO (vlevo).

Graf 4: Výměra jednotlivých kategorií pravděpodobnosti výskytu suchých VO (vpravo).

LITERATURA

- /1/ Kurpelová, M., Coufal, L., Čulík, J.: Agroklimatické podmínky ČSSR. 1. vyd. Příroda, Bratislava, 1975: 270.
- /2/ Mašát, K. et. al.: Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek. 2. vyd. ČAZ – Ústav pro zemědělský průzkum půd Praha, 1974.
- /3/ M užíková, B., Vlček, V., Středa, T.: Tendencies of climatic extremes occurrence in different Moravian regions and landscape types. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2011, 59 (5): 169–178.
- /4/ Středa, T., Středová, H., Rožnovský, J., Chuchma, F.: Vývoj klimatu ve vztahu k bonitaci půd. Úroda, 59 (10), 2011: 53–55.
- /5/ Středová, H., Středa, T., Chuchma, F.: Climatic factors of soil estimated system. In: Bioclimate: Source and Limit of Social Development. SPU v Nitre, Nitra, 2011: 2.
- /6/ Středová, H., Středa, T., Chuchma, F., Fukalová, P.: Vývoj teplotních a srážkových ukazatelů ve vztahu k hodnocení půd. Úroda, 58 (12), 2010: 749–752.
- /7/ Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A.: Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. Időjárás, 117 (1), 2013: 123–141.
- /8/ Vopravil, J., Rožnovský, J., Novotný, I., Khel, T., Papaj, V., Středa, T.: Systém bonitovaných půdně ekologických jednotek – současnost a jejich budoucnost [CD-ROM]. In: Půda v 21. století: hodnocení a oceňování zemědělského půdního fondu v podmínkách užití a ochrany přírodních zdrojů. Ústav zemědělské ekonomiky a informací, Praha, 2011: 93–100.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu NAZV QJ1220054.

VLIV ZASTÍNĚNÍ NA VÝVIN POROSTU VYBRANÝCH ODRŮD JÍLKU VYTRVALÉHO

*The influence of shade on sward development of selected varieties of *Lolium perenne**

Miluše Svobodová, M. Kosinková

Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra pícninářství a trávníkářství, Kamýcká 129, 165 21, Praha 6-Suchbát, e-mail: svobodova@af.czu.cz

Summary

The plot field experiment with 23 varieties of *Lolium perenne* suitable for football fields was established in Česká Skalice (284 a.s.l., year precipitation 650 - 750 mm, average year temperature 7 - 8 °C) in 2013. The seed (25 g/m²) was sown in a place shaded by a building during 90% of day length. The swards were mown 3 times per week to 25 mm, intensively irrigated and fertilized. During the first vegetation year the number of tillers per m² and growth of the leaves length per day were evaluated. The results were evaluated by analysis of variance ANOVA LSD $\alpha = 0.05$ and simple regression analysis (Statgraphics programme, version XV.). Significant differences in average numbers of tillers till by 130% were found between the varieties. The swards of the examined varieties developed mostly according to similar curves, the differences in their density were pronounced from the beginning of the experiment. A significant negative correlation was found between the growth of leaves per day and the sward density (growth of leaves per day = 1.13663 - 0.000020368*number of tiller per m², $r = -0.645$). The model explains 41.6% of the variability.

Key words: Lolium perenne, shade, sward density, leaves growth

Souhrn

Maloparcelový pokus s 23 odrůdami jílku vytrvalého vhodnými pro fotbalové trávníky byl v České Skalici (284 m. n. m., roční suma srážek 650–750 mm, průměrná roční teplota 7–8 °C) v roce 2013. Osivo (25 g/m²) bylo vyseto v lokalitě, která je zastíněna budovou po dobu 90% dne. Porosty byly sečeny 3× týdně na výšku 25 mm, intenzivně zavlažovány a hnojeny. V průběhu vegetace byl sledován počet odnoží na m² a přírůstek délky listů za den. Výsledky byly zpracovány multifaktoriální analýzou rozptylu Anova (LSD $\alpha = 0,05$) a jednoduchou analýzou regrese v programu Statgraphic XV. Mezi odrůdami byly průkazné rozdíly v průměrném počtu odnoží na m² až o 130 %. Porosty odrůd všech tří skupin se vyvíjely v čase podle obdobných křivek, rozdíly v jejich hustotě byly patrné již od počátku. Byla zjištěna negativní závislost mezi přírůstkem délky listů za den a hustotou porostu (přírůstek za den = 1,13663 - 0,000020368*počet odnoží, $r = -0,645$). Model vysvětluje 41,6 % variability.

Klíčová slova: Lolium perenne, zastínění, hustota porostu

ÚVOD

Jílek vytrvalý je nejčastěji využívaný druh pro trávníkové účely. Vyskytuje se v podstatném podílu téměř ve všech směsích pro parkové a rekreační trávníky, je základní složkou silně zatěžovaných fotbalových trávníků a pro svůj rychlý počáteční vývin se používá i tam, kde požadujeme co nejrychlejší zakrytí půdy, tj. v krajinných trávnících. Jeho

nevýhodou je však jeho relativně horší odolnost zastínění ve srovnání např. s druhou nejčastěji používanou trávou – kostřavou červenou. V podmínkách, kde je zastíněn korunami stromů, budovami nebo moderními tribunami fotbalových stadionů, pomaleji vzchází a hůře odnožuje než na slunci /2/. Rostliny se ve stínu snaží přiblížit ke světlu, tím se jejich tvar listů a výhonů ztenčuje a prodlužuje. Tráva má větší tendenci k ohýbání, což má za následek horší kvalitu řezu při sečení. Listová čepel má vyšší energetickou prioritu než kořeny, proto dochází při poklesu energie ke snížení tvorby kořenového systému. Špatné zakořeňování má za následek snížený přísun vody a živin, což může způsobit u rostliny zpomalení růstu a křídnutí celého trávníku /2/. V podmínkách zastínění se doporučuje zvýšit výšku sečení trávníků o 25–50 % než je standardně používáno /1/. /2/ doporučuje, aby výška sečení trávníku v zastínění nebyla nižší než 5 cm. Větší listová plocha zvyšuje množství energie vyrobené fotosyntézou. Ve stínu jsou ovlivněny i vláhové podmínky, trávník ve stínu potřebuje až o polovinu méně vody než na slunném místě, proto by se mělo ve stínu zavlažovat většinou v ranních hodinách, aby trávník rychleji vyschl a omezil se tak výskyt chorob /1/. Mírné zastínění může působit částečně pozitivně, např. z důvodu nižší teploty a výparu v letním období.

Cílem pokusu bylo zhodnotit význam odrůdy pro rozdíly v prvním roce vývinu porostu jílku vytrvalého v podmínkách trvalého zastínění a vztah hustoty porostů s přírůstkem délky listů trav.

MATERIÁL A METODIKA

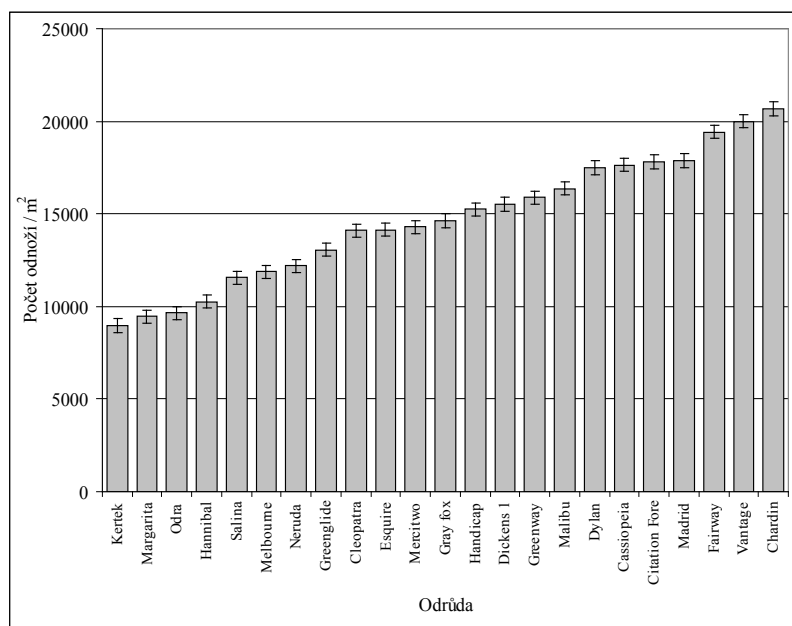
Maloparcelový pokus (velikost parcel 1×1 m) byl veden ve spolupráci s firmou AGRO CS v České Skalici (284 m. n. m., roční suma srážek 650–750 mm, průměrná roční teplota 7–8 °C). O sivo (25 g/m^2). Sortiment odrůd jílku vytrvalého Citation Fore, Fairway, Salina, Chardin, Kertak, Handicap, Cassiopea, Esquire, Mercitwo, Dylan, Melbourne, Hannibal, Madrid, Odra, Margarita, Neruda 1, Vantage, Gray fox, Greenglide, Dickens 1, Cleopatra, Greenway a Malibu byl založen v ýsevem 17. 5. 2013. Tyto odrůdy jsou zapsány ve Společném seznamu EU, doporučovány do směsí v RSM systému a byly vybrány po konzultacích s odborníky firem DLF Trifolium Hladké Životice, s.r.o. a Euro Grass jako vhodné pro zatěžované fotbalové trávníky. Parcely byly umístěny 1,5 metru na sever od budovy (tj. zastíněny během 90% délky dne – sluneční svit přibližně 1,5 hodiny denně).

Porosty byly sečeny 3× týdně na výšku 2,5 cm. Závlahou bylo dodáváno podle počasí v průměru 15 mm vody na m^2 za týden. Hnojení bylo prováděno dlouhodobými hnojivy v šesti dávkách ročně.

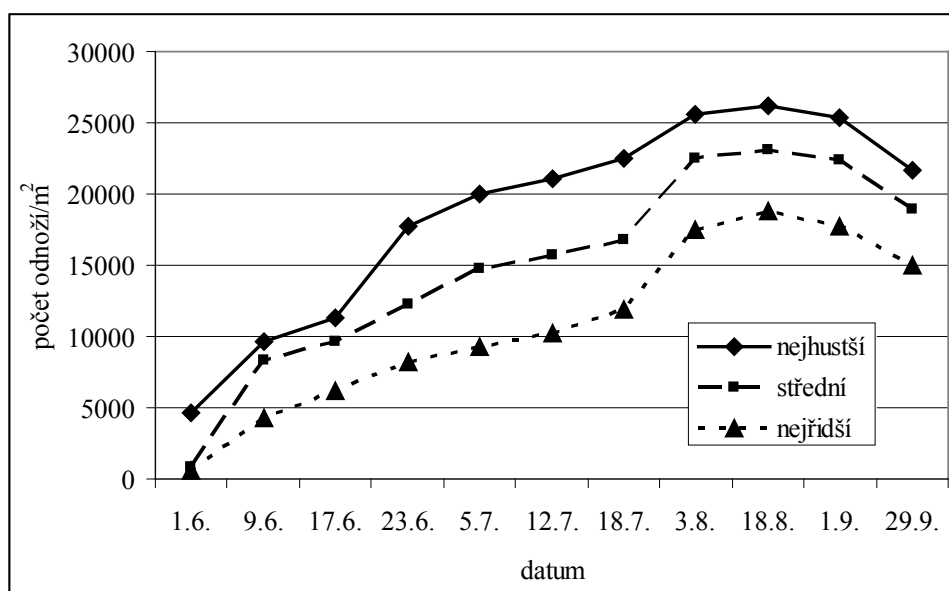
V průběhu vegetace (od června do září) byl sledován počet odnoží na m^2 (11 termínů, 4 měření na stejných místech pomocí rámu 13×13 cm) a přírůstek délky listů za den (12 termínů před sečí, 10 měření). Výsledky byly zpracovány multifaktoriální analýzou rozptylu Anova (LSD $\alpha = 0,05$) a jednoduchou analýzou regrese v programu Statgraphic XV.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Průměrný počet odnoží v době již plně vyvinutého trávníku (od 24.6. do 23.9) se pohyboval od 10–11 tis. na m^2 (odrůdy Kertak, Odra) do 22–24 tis na m^2 (Vantage, Fairway, Chardin). Mezi nejhustšími a nejřidšími odrůdami byly tedy v tomto parametru průkazně rozdíly až o 130%. Sledované odrůdy jsme z praktických důvodů rozdělili do tří kategorií (v podmínkách zastínění nejhustší, střední a nejřidší) podle počtu odnoží na m^2 . Do první kategorie patří odrůdy Cassiopeia, Chardin, Citation Fore, Dylan, Fairway, Madrid, Vantage, průkazně nižší hustotou (v průměru o 20%) se vyznačovaly odrůdy Kleopatra, Esquire, Mercitwo, Grax Fox, Handicap, Dickens, Greenway a Malibu nejřidší porost (v průměru o 42 % ve srovnání s nejhustší skupinou) tvořily odrůdy Kertak, Margareta, Odra, Hannibal, Salina, Melbourne, Neruda a Greenglide (Graf 1).



Graf 1: Průměrný počet odnoží na m², Anova (LSD, α 0,05).

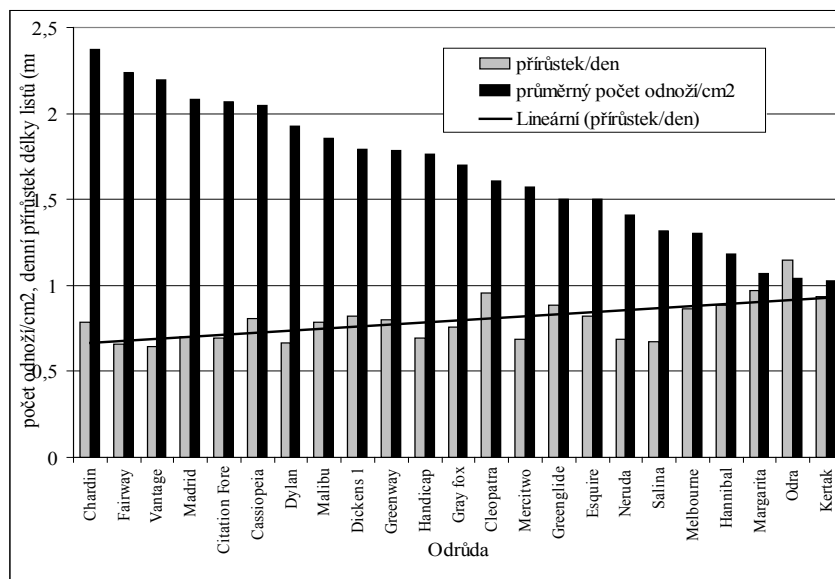


Graf 2: Vývin hustoty porostu v průběhu roku (počet odnoží na m²).

Počet odnoží na m² se u sledovaných odrůd měnil podle vývinu porostů po založení, maxima dosáhnul v období srpna (u odrůd Fairway a Dylan 26,6–27,7 tis. odnoží na m²), v září počet odnoží začal klesat (Graf 2). Je z něj zřejmé, že porosty odrůd všech tří skupin se vyvíjejí podle obdobných křivek, rozdíly v jejich hustotě byly patrné již od počátku. Průměry jejich hustot reagovaly obdobným způsobem na aktuální ekologické podmínky.

U trávníků není žádoucí rychlý prodlužování růst, což může být odrůdová vlastnost, ale i následek zastínění. Byla zjištěna statisticky průkazná (P-value = 0,0009) negativní závislost mezi přírůstkem délky listů za den a hustotou porostu (přírůstek za den = 1,13663 - 0,00020368*počet odnoží). Korelační koeficient pro tuto lineární závislost byl -0,645 (mírně těsná závislost). Z těchto výsledků je zřejmé, že některé odrůdy investují i v podmínkách zastínění relativně více energie do nových odnoží než do dlouhivého růstu listů, což je pro kvalitu trávniku výhodné. Daný model vysvětluje 41,6 % variability. Konkrétní hodnoty jsou zobrazeny v Grafu 3. Obdobně [3] dospěli k závěru, že výraznější zvýšení prodlužovacího

růstu trav v podmínkách menší intenzity světla indikuje jejich menší toleranci zastínění (menší hustotu porostu). Problémy kvality trávníku a množství posečené fytomasy při zastínění 56–65% lze dle výsledků /4/ částečně řešit aplikací přípravků na bázi trinexapac-ethylu.



Graf 3: Vztah mezi průměrným počtem odnoží na cm² a denními přírůstky listů (mm).

Z výsledků je zřejmé, že mezi odrůdami jílku vytrvalého, které jsou vhodné pro fotbalové a jiné podobně zatěžované trávníky, jsou značné rozdíly v odolnosti zastínění. Výsledky tohoto pokusu však neznamenají, že odrůdy s nejrychlejší trávou nejsou pro daný účel vhodné. Pro přesnější informaci by bylo třeba je hodnotit v podmínkách zastínění i vliv mechanické zátěže. Odolnosti zastínění je v dnešní době třeba věnovat zvýšenou pozornost nejen při výběru odrůd pro stadiony s uzavřenými tribunami a pro jiné stinné polohy, ale i při šlechtitelské práci.

LITERATURA

- /1/ Stier, J. C.: Living in the shadows. Grounds Maintenance, 36 (9), 2001: 22–26.
- /2/ Sulzberger, R.: Trávníky: zakládání a péče. Rebo, Česlice, 2005: 95. ISBN: 80-723-4394-7.
- /3/ Tegg, R.S., Lane, P.A. A comparison of the performance and growth of a range of turfgrass species under shade. Australian Journal of Experimental Agriculture, 44 (3), 2004: 353–358.
- /4/ Tegg, R.S., Lane, P.A.: Shade performance of a range of turfgrass species improved by trinexapac-ethyl. Australian Journal of Experimental Agriculture, 44 (9), 2004: 939–945.

Poděkování

Výsledky byly získány za podpory firmy AGROCS a interního grantu SGS FAPPZ 2013.

VPLYV SUCHA 2013 NA PRÍRASTOK A VYBRANÉ FYZIOLOGICKÉ PROCESY PROVENIENCIÍ SMREKA V ARBORÉTE BOROVÁ HORA

THE INFLUENCE OF THE DROUGHT IN 2013 ON THE INCREMENT AND PHYSIOLOGY TRAITS OF THE PROVENANCES OF NORWAY SPRUCE IN THE ARBORETUM BOROVÁ HORA

Alena Pástorová¹, Daniel Kurjak¹, Adriana Leštianska¹, Jana Majerová², Eva Pšidová², Miroslava Macková¹, Katarína Štrelcová¹

¹Lesnícka fakulta, Technická univerzita v Zvolene; ² Ústav ekológie lesa, Slovenská akadémia vied, Zvolen, Slovenská republika, psidova@savzv.sk

Summary

We measured the changes of stem diameter, leaf water potential, osmotic potential, content of proline and parameter of chlorophyll fluorescence F_v/F_m on three provenances of the Norway spruce from different altitudes during the experiment in the arboretum Borová hora. We found that dry and hot July 2013 did not have an influence on the radial growth of the Norway spruce and there were no statistically important differences in the mentioned parameters between the provenances using MANOVA. Except for the leaf water potential no parameter confirmed the drought stress. The leaf water potential ranged from -4.94 to -0.25 MPa.

Key words: Norway spruce, leaf water potential, osmotic potential, proline, changes of stem diameter

Súhrn

Pri experimente v arboréte Borová hora na troch provenienciách smreka obyčajného z rôznych nadmorských výšok sme merali zmeny obvodov kmeňov, vodný a osmotický potenciál ihlič, obsah prolinu a parameter fluorescencie chlorofylu F_v/F_m . Viacfaktorovou analýzou variancie sme zistili, že suchý a teplý júl 2013 nemal vplyv na prírastok smrekov a proveniencie sa medzi sebou štatisticky významne nelíšili v spomínaných charakteristikách. Okrem vodného potenciálu ihlič žiadny parameter nepotvrdil, že by smrek trpel stresom zo sucha. Vodný potenciál ihlič sa pohyboval v intervale od -4,94 do -0,25 MPa.

Kľúčové slová: smrek obyčajný, vodný potenciál ihlič, osmotický potenciál, prolin, zmeny obvodov kmeňov

ÚVOD

Vodný stres je jedným z najfrekvencovanejších ekofyziologických limitov realizácie produkčného potenciálu rastlín. Mierny vodný deficit je však potrebný pre udržanie transpiračného prúdu. Ale, ako uvádzajú [3] dlhodobý vodný stress vo všeobecnosti spôsobuje: obmedzenie rastu a veľkosti listovej plochy, zatváranie prieduchov a následné zníženie ich vodivosti [6], osmotické prispôsobenie sa buniek pletív [7], stimulácia starnutia a opad listov [6], zmenu disipácie (rozptýlenia) tepelnej energie a energie žiarenia z listov, vytváranie hrubšej vrstvy vosku na povrchu listov, zvýšenie transpiračného odporu, rýchlejši rast koreňov do väčších hĺbok pôdy vytváranie kompenzačných koreňov, zmena pomeru

hmotnosti nadzemnej a podzemnej časti rastliny /1/, zvýšená produkcia dehydrínov (špecifická skupina asi 20 doteraz známych stresových proteínov).

MATERIÁL A METODA

Experiment prebiehal v arboréte Borová hora vo Zvolene od 1. 6. do 1. 8. 2013 na troch provenienciách smreka obyčajného (*Picea abies* /L./ K arst.) poc hádzajúcich z rozdielnych nadmorských výšok z pohoria V olovské vrchy, vo výške 35 rokov (každá reprezentovaná šiestimi vzorníkmi):

1. proveniencia – 500 m n. m.
2. proveniencia – 750 m n. m.
3. proveniencia – 1100 m n. m.

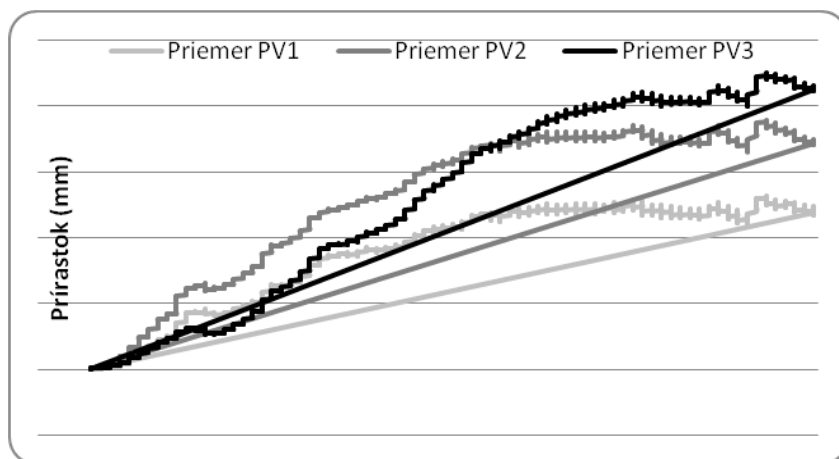
Na každom vzorníku bol nainštalovaný dendrometer D RL 26 (EMS B mo, C Z) s automatizovaným ukladaním dát do zabudovaného datalogera. Zmeny obvodov kmeňov sa kontinuálne zaznamenávali v hodinových intervaloch. Neďaleko vybraných vzorníkov smreka prebiehali tiež merania meteorologických charakteristík (globálnej radiácie [$W \cdot m^{-2}$], teploty vzduchu [$^{\circ}C$], relatívnej vlhkosti vzduchu [%], úhrnu zrážok [mm]) a teploty pôdy [$^{\circ}C$].

Stanovenie obsahu voľného prolínu sa realizovalo spektrofotometricky, kde je podstatou hodnotenie farebnej reakcie prolínu s ninhydrínom. Použili sme metodiku podľa /2/. Merania vodného (Ψ_w) a osmotického potenciálu (Ψ_s) ihličiek vykonávali psychrometrickou metódou prístrojom PSYPRO (Wescor, USA). S účasťou prístroja sú meracie psychrometrické komôrky C-52.

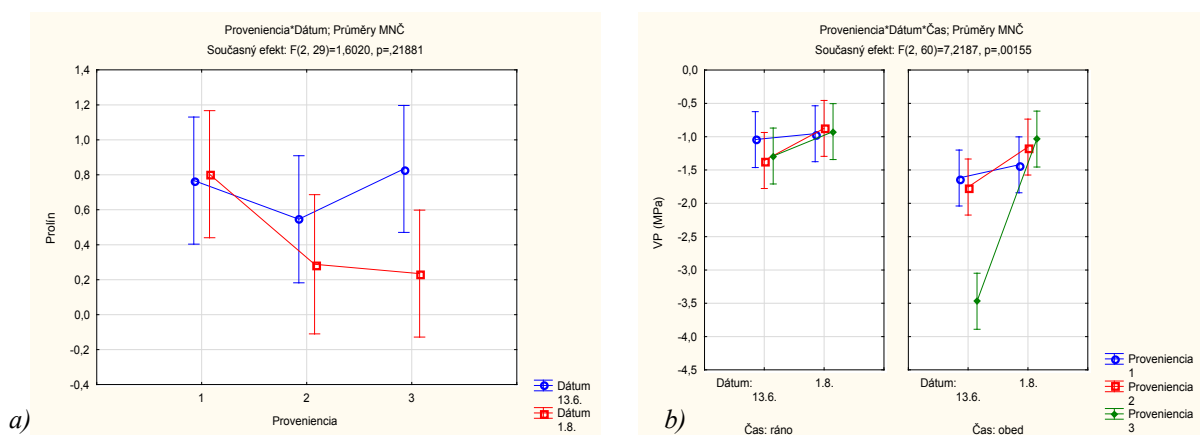
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Počasie počas experimentu od 1. 6. do 1. 8. 2013 bolo mimoriadne teplé a zrážkovo normálne s výnimkou mimoriadne suchého júla. Na Grafe 1 vidíme, že hrúbkový rast prvej a druhej proveniencie počas suchého júla stagnoval až do augusta, kedy už prirodzene dochádza k ukončeniu hrúbkového rastu. Odlišne ale reagovala tretia proveniencia pochádzajúca z najvyššej nadmorskej výšky, ktorá prirastala aj v júli. Môže to byť na jednej strane spôsobené konkrétnymi mikroklimatickými podmienkami stanovišťa, na ktorom je vysadená tretia proveniencia, ktoré sa môžu líšiť od podmienok na stanovištiach prvej a druhej proveniencie. Na druhej strane sa zdá, že tretej proveniencii na jviac v yhovujú prirodné podmienky do ktorých bola prenesená a najlepšie sa im prispôbila

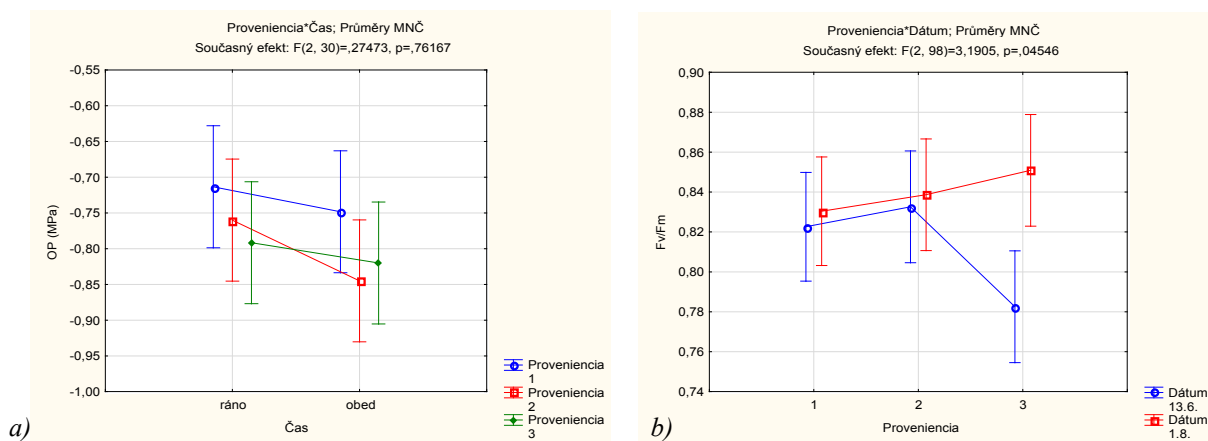
Viacfaktorovou analýzou variancie fyziologických parametrov smrekov sa nepotvrdili žiadne rozdiely medzi provenienciami ani medzi časom meraní vo vodnom a osmotickom potenciáli, v obsahu prolínu a vo fluorescencii chlorofylu charakterizovanej parametrom Fv/Fm (Grafy 2 a 3). Výnimkou je tretia proveniencia, pri ktorej bol rozdiel vo vodnom potenciáli a parametri Fv/Fm medzi dátumami meraní. V prípade vodného potenciálu sa domnievame, že ide o extrémne hodnoty počas obedňajšieho merania, ktorý treba vylúčiť alebo prehodnotiť a nevieme posúdiť z akých príčin k nim došlo. V prípade parametra Fv/Fm to môže byť spôsobené faktormi, ktoré boli spomínané už vyššie.



Graf 1: Zmeny obvodov kmeňov v čase experimentu od 1. 6. 2013 do 16. 8. 2013.



Graf 2: Viacfaktorová analýza variancie: a) obsahu prolínu, b) vodného potenciálu ihlič.



Graf 3: Viacfaktorová analýza variancie: a) osmotického potenciálu, b) fluorescencie chlorofylu – parameter Fv/Fm .

Hodnoty Fv/Fm sa pohybovali od 0,406 do 0,864 a v termíne 1. 8. 2013 sú t rochu vyššie ako 13. 6., ni e však š tatisticky významne. Niektoré hodnot y Fv/Fm však naznačujú

stres suchom alebo vysokou teplotou, pretože normálne hodnoty tohto parametra sa pohybujú v intervale od 0,700 do 0,830 /9/. Hodnoty obsahu prolínu sa pohybovali od 0,155 do 1,816 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ a 13. 6. boli vyššie ako 1. 8., preto sa zdá, že sucho v júli nemalo väčší vplyv na fyziológiu smreka. Hodnoty osmotického potenciálu, ktoré sa pohybovali od -1 do -0,61 MPa neindikujú stres suchom, pretože podľa /5/ a/6/ bežná adaptácia rastlín tolerantných na stres suchom je v vysoký negatívny osmotický potenciál plétiv. Hodnoty vodného potenciálu sa pohybovali od -4,94 do -0,25 MPa a poukazujú tak na stredne silný až silný stres /8/, čo potvrdzujú aj zistenia ďalších autorov /4, 10/, podľa ktorých môžu hodnoty vodného potenciálu v podmienkach veľmi silného stresu zo sucha pri smreku klesnúť aj pod -3 MP.

LITERATÚRA

- /1/ Arve, L.E., Torre, S., Olsen, J.E., Tanino, K.K.: Stomatal Responses to Drought Stress and Air Humidity. Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations. InTech, 2011: 13.
- /2/ Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D.: Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39, 1973: 205–207.
- /3/ Brestič, M., Olšovská, K.: Vodný stres rastlín, príčiny, dôsledky, perspektívy. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2001: 149.
- /4/ Ditmarová, E., Kurjak, D., Palmroth, S., Kmeť, J., Štřelcová, K.: Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. Tree physiology 30 (2), 2010: 205–213.
- /5/ Lambers, H., Chapin III., F.S., Pons, T.L.: Plant Physiological Ecology. Springer, New York: 540.
- /6/ Larcher, W., 1995: Physiological Plant Ecology. Springer Verlag, Berlin-Tokyo, 1998: 506 s.
- /7/ Ludlow, M.M., Muchow, R.C.: A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. Advances in Agronomy, 43, 1990: 107–152.
- /8/ Procházka, S., Macháčková, I., Krehule, J., Šebánek, J., Gloser, J., Havel, L., Nátr, L., Prášil, I., Sladký, Z., Šantrůček, J., Tesařová, M., Vyskot, B.: Fyziologie rostlin. Academia Praha, 2003: 488.
- /9/ Ritchie, G.A.: Chlorophyll Fluorescence: What is it and what do the numbers mean? USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-43, 2006: 10.
- /10/ Slugeňová, K., Ditmarová, E., Kurjak, D., Válka, J.: Vplyv interakcie sucha a hliníka na fyziologické charakteristiky sadeníc smreka obyčajného. In: Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra: zborník recenzovaných príspevkov [CD-ROM]. Ústav hydrológie SAV, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava, 2010: 472–479.

Poděkování

Táto práca bola podpo rovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-0480-12, APVV-0436-10, APVV-0111-10 a z projektu VEGA č. 2/0034/14.

TEPLOTNÉ REAKCIE SMREKA OBYČAJNÉHO NA PORASTOVEJ STENE A V PORASTE V ZÁVISLOSTI OD SLNEČNEJ RADIÁCIE A TEPLoty VZDUCHU

TEMPERATURE RESPONSES OF NORWAY SPRUCE AT FOREST EDGE AND IN FOREST STAND DEPENDING ON SUN RADIATION AND AIR TEMPERATURE

Andrej Majdák, Miroslav Blaženec, Michaela Gondová, Rastislav Jakuš
Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, majdak@savzv.sk

Summary

An experiment for the purpose of observing temperature changing of healthy and physiologically weakened trees in forest interior and at the forest edge was running. For purposes of determination the impact of the global radiation and air temperature, two different days were chosen – one of them sunny and high temperature, and the other cold and cloudy. There were discovered significant differences in the reactions of physiologically weakened trees, which were more sensitively reacting to changes of air temperature and global radiation in the morning.

Keywords: Norway spruce, temperature, global radiation

Súhrn

Experiment za účelom sledovania zmien teplôt stromov prebiehal v dospelom poraste a na porastovej stene so zdravými aj fyziologicky oslabenými smrekmi. Pre účely zistenia vplyvu globálnej radiácie a teploty vzduchu boli vybrané dva dni s kontrastným počasím – jeden veľmi teplý a slnečný, druhý chladný a oblačný. Z nameraných dát bol zistený veľký rozdiel v reakciách fyziologicky oslabených jedincov, ktoré reagovali už v skorých ranných hodinách na zmeny teploty a globálnej radiácie.

Kľúčové slová: smrek, teplota, globálna radiácia

ÚVOD

Kľúčovými faktormi ovplyvňujúcimi rozpad smrekových porastov sú náhle oslnenie a stres vyvolaný nedostatkom vody. Pri prírodných disturbanciách alebo ťažbách vznikajú otvorené porastové steny, ktoré sú náhle vystavené slnečnému žiareniu. Vo všeobecnosti platí, že zdravý strom ktorý netrpí deficitom vody ochladzuje svoje pletivá. Na druhej strane, silne stresovaný strom obmedzuje transpiračný prúd, čoho následkom je prehrievanie pletív. Tento proces umocňuje primárny stres z nedostatku vody v drevine ktorá stráca schopnosť ochladzovať najmä oslnenú časť svojej biomasy a dochádza k jej prehrievaniu /1/. Poruchy metabolizmu stromov spôsobujú vylučovanie látok, ktoré pôsobia ako primárne atraktanty pre podkôrny hmyz /2/.

Jednou z možností zisťovania teplôt je aj termovízia, ktorá má veľmi široké možnosti využitia v rôznych odvetviach. V oblasti ochrany lesa (poprípade lesníctva, či

poľnohospodárstva) sa však ešte stále nevyžíva jej kompletný potenciál na získavanie kvalitných úda jov. S kúmal s a na príklad vpl yv vodné ho s tresu na vi aceré dr uhy s tromov a následné navrhnutie potrebných opatrení ako dôsledok extrémneho sucha v strednej Európe v roku 2003 /3/. Taktiež je termovíziu možné využiť na určenie zdravotného stavu rastlín /4/, na možnosti využitia zavlažovanie pri poľnohospodárskych plodinách /5, 6/ a na v ýskumy zamerané na fyziologické a tepelné charakteristiky v rôznom fyziologickom stave /7/.

Na základe predchádzajúcich prác možno predpokladať, že termovíziou možno efektívne skúmať tepelné charakteristiky stromov v rôznom fyziologickom stave a tak určovať ich kondíciu a zdravotný stav.

MATERIÁL A METÓDY

Snímanie teplôt prebiehalo v dňoch 20.8. a 10.10.2012 v dos pelom smrekovom poraste v LHC Michalová (48°45'55.85" S, 19°47'31.18" V, okr. Brezno, SR), s nadmorskou výškou od 650 do 730 m n. m.

Pre účely daného experimentu bolo zvolených 5 úrovňových stromov vo vnútri porastu (plocha A), 5 zdravých stromov na porastovej stene (plocha B) a 5 viditeľne odumierajúcich stromov na porastovej stene (plocha C).

Teploty boli pr imárne zaznamenávané pomocou termokamery typu W H-8 s nechladeným F PA mikrobolometrom s rozlíšením 384 × 288 bodov. Rozsah snímaného spektra 8–14 μm a tepelná citlivosť pri 30 °C je udávaná výrobcom cca 0,08 °C. Emisivita snímania bola nastavená na hodnotu 0,96. Na A ploche a B ploche bola zaznamenávaná aj teplota lyka pomocou termočlánkových ihliel.

Teplota každého stromu bola snímaná vo výške 4 metrov a z dvoch strán – zo strany, z ktorej svietilo slnko, čo najkolmejšie a opačnej strany, ktorá je v tieni aj v prípade stromov na porastovej stene. Dňa 20. 8. bolo uskutočnených na A aj B ploche 9 meraní a v prípade C plochy bolo meraní 8. Dňa 10. 10. prebehlo 9 meraní pre všetky 3 plochy.

Na príľahlej voľnej ploche bola v polhodinových intervaloch meraná teplota vzduchu a globálna radiácia pomocou Minikin RT (EMS Brno, CZ). Taktiež bola meraná aj teplota vzduchu vo vnútri porastu.

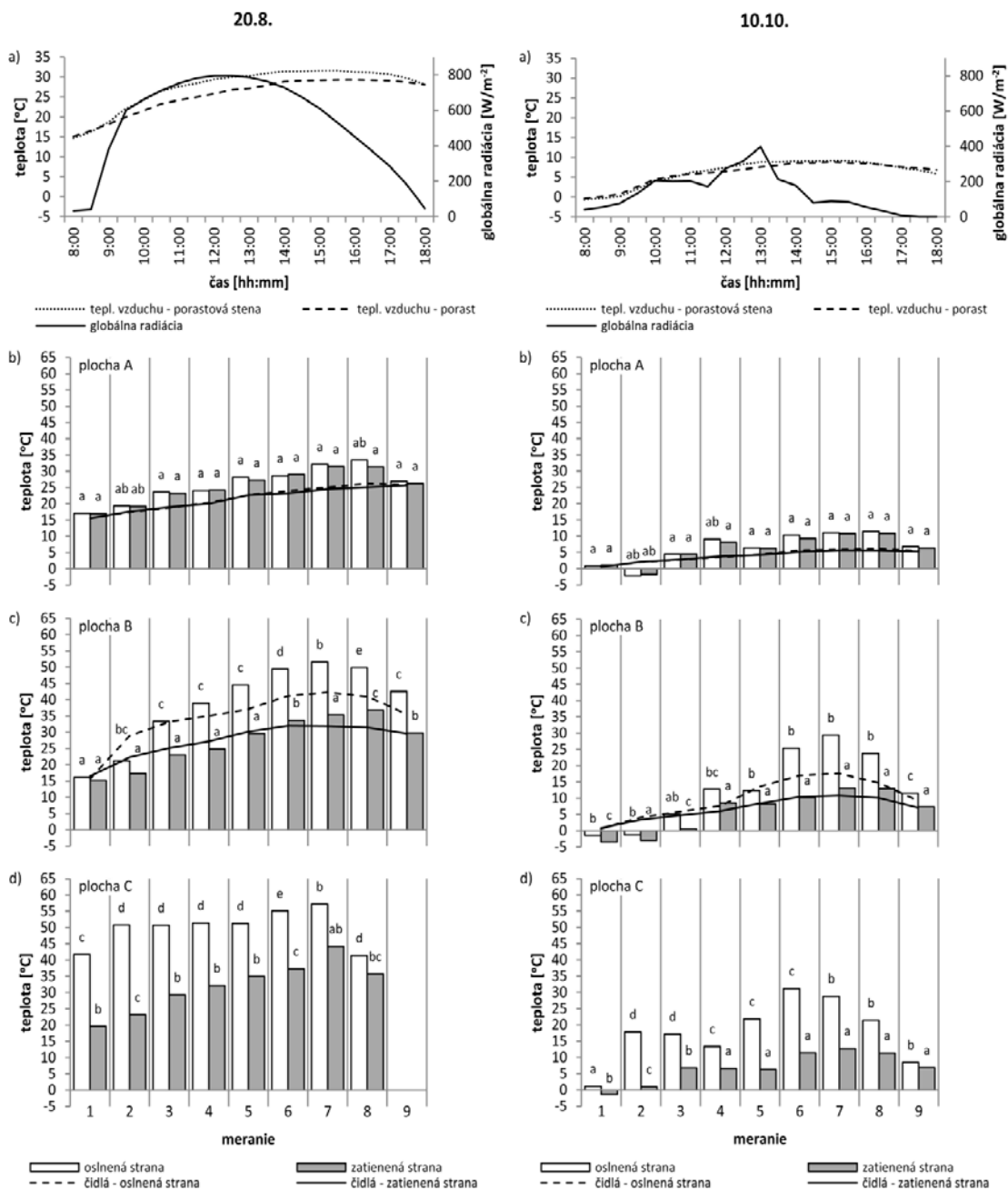
Dáta z termovízneho merania sa následne graficky v yhodnotiliv programe Microsoft Excel a štatisticky v yhodnotili v prostredí programu STATISTICA 7. Teploty sa na vzájom štatisticky porovnali v rámci dňa pre každé jedno meranie medzi plochami A, B a C, tzn. pre jeden deň bolo 9 štatistických porovnaní.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre účely daného experimentu prebiehali merania v jeden bezoblačný a veľmi teplý deň (20.8.), keď maximálna teplota vzduchu v okolí porastovej steny dosahovala hodnotu 31,7 °C a hodnota globálnej radiácie 795,8 W .m⁻² (Obr. 1 a) a v jeden chladný a oblačný deň (10.10.) s maximálnou teplotou vzduchu v okolí porastovej steny len 9,2 °C a rozkolísanou hodnotou globálnej radiácie s maximálnou hodnotou 397,9 W.m⁻² (Obr. 2a).

V každý sledovaný deň sa uskutočnilo 9 meraní v približne hodinových intervaloch od 8:00 do 18: 00 hod.. Pre každé jedno meranie a pre každú plochu sa graficky z názornila priemerná teplota z piatich meraných stromov pre oslnenú a zatienenú časť zvlášť. Zároveň sa pre porovnanie doplnili hodnoty teploty lyka z bodových čidiel pre plochu A aj plochu B.

Ako vidieť (Obr. 1b, 2b), vplyvom mikroklímy porastu a nedostatkom slnečného žiarenia v poraste, ktoré neprechádza hustým zápojom, nedochádza k prehrievaniu stromov. Teplota je jednotlivých meraní je takmer rovná s teplotou vzduchu a nedochádza ani k štatisticky významným rozdielom v rámci porovnania oslnenej a zatienenej strany stromov.



Obr. 1: a) priebeh globálnej radiácie a teplôt vzduchu v poraste a na porastovej strane; priemery teplôt oslnenej a zatienenej časti pre jednotlivé merania a teploty bodových čidiel pre b) plochu A (vnútro porastu), c) plochu B (zdravé stromy na porastovej strane) a d) plochu C (fyziologicky oslabené stromy na porastovej strane).

Obr. 2: a) priebeh globálnej radiácie a teplôt vzduchu v poraste a na porastovej strane; priemery teplôt oslnenej a zatienenej časti pre jednotlivé merania a teploty bodových čidiel pre b) plochu A (vnútro porastu), c) plochu B (zdravé stromy na porastovej strane) a d) plochu C (fyziologicky oslabené stromy na porastovej strane).

Pri teplotách zdravých stromov na porastovej stene (Obr. 1c, 2c) je viditeľný podobný efekt na zatienených častiach stromov. Výrazná diferenciacia sa ale prejavuje vplyvom slnečného žiarenia na oslnených častiach stromov od 2. merania pre meranie dňa 20. 8. a už od prvého merania pre 10. 10. Taktiež je badateľný rozdiel v teplote lyka na oslnenej a na zatienenej strane, kedy vo veľmi teplý a bezoblačný deň rozdiel dosiahol až 5 °C.

Najväčšie diferencie teplôt medzi oslnenou a zatienenou stranou stromov sú vidieť na porastovej s tene fyziologicky oslabených stromov (Obr. 1d, 2d), kde je od 1. merania významný štatistický rozdiel.

Pri porovnaní jednotlivých plôch pre každé meranie je možné pozorovať vplyv slnečného žiarenia. Na porastovej stene (plocha B) je evidentný štatisticky významný nárast od 3. merania pre veľmi teplý deň a od 5. merania pre chladný a oblačný deň. Pri fyziologicky oslabených stromoch (plocha C) je možné vidieť štatisticky významný nárast teplôt už od 1. merania pre veľmi teplý deň na oslnenej strane a na zatienenej od 1. do 6. merania. Pre chladný a oblačný deň na oslnenej strane je viditeľný štatisticky významný rozdiel takmer pri všetkých meraniach, na zatienenej strane len pri 1. až 3. meraní.

Z daného pozorovania možno konštatovať, že pri fyziologicky oslabených jedincoch nastáva významný nárast teplôt už od ranných hodín ako aj na oslnenej tak aj na zatienenej strane stromov. Pri zdravých, plne transpirujúcich stromoch tento jav nastáva neskôr v porovnaní s fyziologicky oslabenými stromami, a aj to spravidla len na oslnenej časti stromov.

Poznanie teplotných reakcií smreka obyčajného vzhľadom na stresové faktory môže byť kľúčovým pri určovaní kondície a zdravotného stavu. V kombinácii s podmienkami prostredia a ďalšími faktormi, je možné výslednú metódu použiť na vyhľadávanie stromov predisponovaných na nálet podkôrneho hmyzu alebo aktívnych chrobačiarov, na ktorých ešte nevidno zmeny farby ihličia. Tvorba komplexnejšej metodiky bude predmetom ďalšieho výskumu.

LITERATÚRA

- /1/ Penka, M., 1985: Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia, Praha: 250.
- /2/ Jakuš, R., Blaženec, M., 2008: Možnosti a limitácie použitia feromónov a antiatraktantov v ochrane smrekových porastov pred podkôrnym hmyzom. In: Ekologické metody ochrany lesa před podkorním hmyzem: Sborníky z výzkumu na Šumavě – sešit 1. Šumava, 2008: 4–14.
- /3/ Scherrer, D., et al.: Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 151 (12), 2011: 1632–1640.
- /4/ Jones, H.G., Stoll, M., Santos, T., de Sousa, C., Chaves, M.M., Grant, O.M.: Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53 (378), 2002: 2249–2260.
- /5/ Jones, H.G.: Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 95, 1999a: 139–149.
- /6/ Jones, H.G.: Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Journal of Plant Cell and Environment*, 22 (9), 1999b: 1043–1055.
- /7/ Granier, A., et al.: Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis, *Tree Physiology* 14, 1994: 1383–1396.

PodĎakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Prognosticko-informačné systémy pre zvýšenie efektívnosti manažmentu, ITMS: 26220220109, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

SPONZOŘI KONFERENCE

Intertec, s.r.o.

Analytické přístroje



Spektrofotometre, Váhy, Refraktometre, Polarimetre, Kalorimetre, pH metre, Oximetre, Mikroskopy, Vodná aktivita, Viskozimetre, Titrátor, Merače vodivosti, BSK - respirácia

Pre poľnohospodárstvo



NIR analýza, Pádové číslo, Vypierač lepku, Alergény, Mykotoxíny, Mlyny, Stanovenie dusíka, Stanovenie vlhkosti, Stanovenie vlákniny, Stanovenie tuku, Ostatné

Príprava, úprava vzorky



Mikrovlonné rozkladné systémy, Mineralizačné bloky, Autoklávy, Centrifúgy, Laboratórne pece, Vodné a olejové kúpele, Ponorné termostaty, Homogenizátory, Mlyny, Mag. miešadlá, Trepačky, Laminárne boxy, Sušiarne, Vysokotlakové reaktory, Skriňové termostaty, Klimatické komory, Inkubátory

Spotrebný materiál



HCL lampy pre AAS, Grafitové kvety pre AAS, Kremenné a sklenné kvety, Deutériové lampy, pH elektródy, Redox elektródy, ISE elektródy, Kyslíkové sondy, Vodivostné cely, Elektródy Sentek

Zdravotnícke prístroje



Dychové analyzátory, Germicídne žiariče, Autoklávy, Sterilizátory, Rukavice, Centrifúgy, Laminárne boxy, CRP, Pre operačné sály, Inkubátory, Alkohol testery

Laboratórne pomôcky



Teplomery, Hustomery, Mikropipety, Topné hniezda, Vyhrievacie platne, Odparky a vývevy, Kliešte, držiaky, Filtračný materiál

Destilovaná voda



Sklenné dest. prístroje, Reverzná osmóza

Laboratórny nábytok



Digestory, Laboratórne stoly

Lab. sklo a plasty



Profi práčky a sušičky



Profesionálne práčky, Profesionálne sušičky



Dodavatel přístrojů pro pedologii, hydrogeologii,
meteorologii, výzkum rostlin a diagnostiku
životního prostředí



**Dodáváme přístroje a certifikovaný spotřební materiál
od světově uznávaných výrobců pro:**

- odběr porušených i neporušených vzorků půd
- odběr povrchových i podzemních vod
- odběr půdní vlhkosti a půdního vzduchu
- odběr sedimentů
- odběr odpadů a zvrstvených tekutin v nádržích a sudech
- odběr stavebních materiálů
- odběr tekutých, pastovitých a pevných odpadů
- měření vlhkosti půdy a sacího tlaku
- měření infiltrace a hydraulické vodivosti půdy
- měření teplot vzduchu, půdy a vody
- stanovení retenčních čar (pF křivek)
- stanovení čar zrnitosti
- stanovení vzdušné propustnosti půdy
- měření objemu (např. zrn)
- instalaci monitorovacích vrtů
- výstroj monitorovacích vrtů (filtry, závitové pažnice PE, bentonit, hadice)
- měření hladin vody a průtoků
- měření pH, EC, T, rozpuštěného kyslíku a redox potenciálu
- sledování meteorologických jevů (meteostanice, čidla, datalogery)
- dálkový přenos dat
- výzkum rostlin (CO₂, fotosyntéza, listová plocha atd.)

dále dodáváme:

- půdní penetrometry
- čerpadla pro odběr vzorků vody

Ekotechnika spol. s r.o.

Mokropeská 1832, 252 28 Černošice u Prahy, tel.: +420 251 640 511, fax: +420 251 640 512
E-mail: info@ekotechnika.cz, www.ekotechnika.cz

Zástoupení pro SR

Ing. Viliam Bárek, CSc, tel.: +421 904 547 290, e-mail: vbarek@ekotechnika.cz

Název: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2014

Editor: František Hnilička

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied

Odborní recenzenti: doc. RNDr. Jan Novák, DrSc.

Ing. Zuzana Šlégrová

Tisk: Power Print

Náklad: 130 ks

Počet stran: 292

Vydání: první

Rok vydání: 2014

ISBN: 978-80-213-2475-6 (Česká zemědělská univerzita v Praze)

ISBN: 978-800-89408-17-7 (Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied)

Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou