

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

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

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



VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2024

(Sborník recenzovaných vědeckých prací)

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC STRESSES
ON PROPERTIES OF PLANTS 2024**

(Proceedings of scientific articles)



Česká zemědělská univerzita v Praze

Pořadatelé:

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

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze

**VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH
STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2024**

(Sborník recenzovaných vědeckých prací)

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou

Czech University of Life Science Prague

Institute of Forest Ecology SAS

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

Organizers:

Institute of Forest Ecology SAS

Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC
STRESSES ON PROPERTIES OF PLANTS 2024**

(Proceedings of scientific articles)

This publication has not undergone language editing

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

Jazyková korektura: Texty příspěvků neprošly jazykovou pravou
Foto na titulní straně: Vliv nízké teploty a vodního deficitu na
jabloně
foto: František Hnilička

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

Odborní recenzenti: *Mgr. Jana Šlégrová*

Organizační výbor konference:

RNDr. Ľubica Ditmarová, PhD. (ÚEL)
doc. Ing. František Hnilička, Ph.D. (ČZU)
Ing. Helena Hniličková, Ph.D. (ČZU)
Ing. Margita Kuklová, CSc. (ÚEL)
Mgr. Ivica Pivková, PhD. (ÚEL)
Ing. Hana Húdoková, PhD. (ÚEL)

© Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v. v. i., 2024
ISBN: 978-80-89408-38-2

OBSAH

	Úvodní slovo	.....	1
<i>L. Bláha</i>	Průběh klimatických změn od pravěku do současnosti	.....	2
<i>R. Podlipná, L. Raisová</i> <i>Stuchlíková, L. Langhansová, B. Szotáková</i>	Cirkulace anthelmintik v životním prostředí: příjem, akumulace a biotransformace v rostlinách	.....	19
<i>L. Langhansová, V. Tuřmová, Š. Petrová, R. Podlipná, M. Liška, D. Haisel, P. Klouček, M. Petrůl</i>	Jaké stresové faktory ovlivňují rostliny v akvaponických systémech a jaký to má dopad na jejich nutriční kvalitu	.....	26
<i>M. Bajus, P. Štesová, K. Kollárová, Z. Vivodová</i>	The effect of salinity on plants	.....	32
<i>M. Ševcov, M. Bajus, K. Šípošová-Holeková, D. Hačkuličová, K. Kollárová, E. Labancová</i>	The activity of peroxidase and hydrogen peroxide level in maize and Courgette after pesticide application	.....	36
<i>M. Ševcov, K. Šípošová-Holeková, M. Bajus, D. Hačkuličová, K. Kollárová, E. Labancová</i>	The effect of systemic pesticide containing Sulfoxaflor on the activity of catalase in maize	.....	40
<i>I. Pivková, J. Kukla, K. Sládeková, M. Kuklová</i>	Content of macronutrients in plants affected by magnesite immissions	.....	44
<i>J. Luptáková, S. Tóthová</i>	Zmeny vybraných ujazovateľov v rašeline po pridaní dreveného popola	.....	53
<i>V. Mačejovský, S. Tóthová, I. Horvát, S. Strmeň</i>	Vplyv celulózneho kalu na počiatkový vývoj semenáčikov	.....	58
<i>M. Ghulam, B. Šerá</i>	An overview of seed priming: from concept to reality	.....	63
<i>P. Doshi, V. Scholtz., A. Oplíštilová, J. Khun, M. Klenivský, M. Šerý, B. Šerá</i>	Combination of non-thermal plasma and artificial plasma activated water against <i>Fusarium graminearum</i> in wheat	.....	67
<i>B. Šerá, M. Ghulam, P. Doshi, H. Žarnovičan</i>	Bodoplev hroznatý má specifickú stratégiu a snaží zasolení pôdy – prípadová štúdia Selenec	.....	72
<i>H. Žarnovičan, B. Šerá, J. Gatialová</i>	Vplyv solného stresu na <i>Amorpha fruticosa</i> L. (Prípadová štúdia Lučenec, Slovensko)	.....	77

<i>Z. Kovalíková, J. Janoušek, J. Tůma</i>	Genotypové rozdíly osmoticky aktivních látek u třešní v polních podmínkách	82
<i>T. Rýgl, F. Hnilička, J. Česká, J. K. Kodet, J. Kudrna, J. Kubeš</i>	Využití fyziologických charakteristik pro stanovení odolnosti jabloní vůči vodnímu deficitu	88
<i>F. Hnilička, B. Tun- klová, T. Rýgl, R. Soto- lář, K. Kocová</i>	Změny fyziologických parametrů révy vinné způsobené deficitem vody	96
<i>J. Janoušek, Z. Kovalíková</i>	Vliv fytohormonů na vodní deficit u rajčat	103
<i>R. Kuna, V. Borgul'ová, P. Boleček</i>	Fyziologické aspekty kadmiového stresu v skorých stádiích vývinu při hydroponicky pěstovanéj slnečnici	109
<i>K. Stránska, V. Kubová, R. Matúšová., B. Piršelová</i>	Zmeny v tolerancii rajčiaka jedlého na ióny kadmia vyvolané strigolaktónom GR24	113
<i>V. Kubová, B. Piršelová</i>	Vplyv kadmia a múčnatky trávovej na oxidačné poškodenie pletív ovsa siateho	119
<i>V. Vargová</i>	Vplyv hnojenia na trávne porasty v meniacich sa klimatických podmienkach	124
<i>D. Moravčíková, S. Farkasová, A. Abbas, L. Urbanová, J. Žiarovská</i>	Pozičný polymorfizmus homológov génov PR-10 bielkovín láskvaca v prostredí kontaminácie kadmimom	130
<i>I. Mihál, M. Kuklová, J. Kukla</i>	Vplyv Mg emisií na akumuláciu medi a zinku v makromycétach	135
<i>A. Sliacka Konôpková, A. Rahman, P. Fleischer jr., H. Húdoková, L. Štofániková, M. Mukrram, D. Kurjak</i>	Účinok aplikácie nanočastíc kremíka na zmiernenie vplyvu ťažkých kovov na fyziologickú výkonnosť ryže siazej	140
<i>N. Britaňák, M. Kizeková, E. Malovcová, M. Apacsová-Fúsková</i>	Stabilita úrod v osevnom postupe s rôznym zastúpením obilnín	145
<i>T. Havel</i>	Nabídka firmy Ekotechnika	150
<i>M. Barna</i>	Folia Oecologica	153
<i>E. Karská</i>	Vědecké časopisy ČAZV	154

JMENNÝ REJSTŘÍK

A

Abbas	.....	130
Apacsová-	.....	145
Fúsková		

B

Bajus	.....	32,36,40
Barna	.....	128
Bláha	.....	2
Boleček	.....	109
Borguľová	.....	109
Britaňák	.....	145

Č

Česká	88
-------	-------	----

D

Doshi	67,72
-------	-------	-------

F

Farkasová	.....	130
Fleischer, Jr.	.....	140

G

Gatialová	.....	77
Ghulam	.....	63, 72

H

Hačkuličová	.....	36, 40
Haisel	.....	26
Havel	.....	146
Hnilička	.....	88, 96
Horvát,	.....	58
Húdoková,	.....	140

J

Janoušek	82, 103
----------	-------	---------

K

Karská	.....	149
Khun	.....	67
Kizeková	.....	145

Klenivský	.....	67
Klouček	.....	26
Kocová	.....	96
Kodet	.....	88
Kollárová	.....	32, 36, 40
Kovalíková	.....	82, 103
Kubeš	.....	88
Kubová	.....	113, 119
Kudrna	.....	88
Kukla	.....	44, 135
Kuklová	.....	44, 135
Kuna	.....	109
Kurjak	.....	140

L

Labancová	.....	36, 40
Langhansová	.....	19, 26
Liška	.....	26
Luptáková	.....	53

M

Mačejovský	.....	58
Malovcová	.....	145
Matúšová	.....	113
Mihál	.....	135
Moravčíková	.....	130
Mukrram	.....	140

O

Oplíštilová	67
-------------	-------	----

P

Petrová	.....	26
Petrtyl	.....	26
Piršelová	.....	113, 114
Pivková	.....	44
Podlipná	.....	19, 26

R

Rahman	.....	140
Raisová	.....	19
Stuchlíková	.....
Rýgl	.....	88, 96

S

Scholtz	.....	67
Sládková	.....	44
Sliacka	.....	140
Konôpková	.....
Sotolář	.....	96

Stránska	.....	113	Šerá	.....	63, 67, 72, 77
Strmeň	.....	58	Šerý	.....	67
Szotáková	.....	19	Ševcov	.....	36, 40

Š

Šípošová- Holeková	.....	36, 40
Štesová	.....	32
Štofáníková	.....	140

T

Tóthová	.....	53, 58
Tůma	.....	82
Tůmová	.....	26
Tunklová	.....	96

U

Urbanová	130
----------	-------	-----

V

Vargová	.....	124
Vivodová	.....	32

Ž

Žarnovičan	.....	72, 77
Žiarovská	.....	130

ÚVODNÍ SLOVO

Opět rok s rokem se sešel a nadešel čas našeho společného setkání nad problematikou stresů u rostlin. V letošním roce nás opět přivítá významné historické město Zvolen, které lze jistě bez nadsázky označit za hlavní město lesů.

V rámci letošního ročníku opět zazní mnoho přednášek a plakátových sdělení, které zahrnují nejenom již klasické stresory, kterými bezesporu jsou vodní deficit, rizikové látky v prostředí, ale také biotické faktory, především antropogenní působení. Tématem letošního ročníku je vliv environmentálních změn na rostliny. Domníváme se, že právě tato problematika je stále více v popředí zájmu nejenom zemědělců, lesníků, zelinářů, ovocnářů. Nesmíme však zapomínat, že řada těchto změn se udává více či méně pravidelně v rámci geologického cyklu naší planety, ale vlivem lidské činnosti se tyto jevy zrychlují. Na řadu otázek, které si klade nejenom odborná, ale i laická veřejnost ještě zcela nedokážeme odpovědět, ale postupně odkrýváme jednotlivé souvislosti a snažíme se pochopit interakci mezi rostlinou a prostředím, včetně jejich přizpůsobení se stresorům.

Naším přáním je, aby i letošní ročník byl inspirující, podnětný a přátelský. Na shledanou v roce 2025 v Praze.

Organizační výbor konference

PRŮBĚH KLIMATICKÝCH ZMĚN OD PRAVĚKU DO SOUČASNOSTI***COURSE OF CLIMATE CHANGES FROM PREHISTORIC TIME TO THE PRESENT***

Ladislav Bláha

U Stárovny 674, 156 00, Praha Zbraslav
bývalý pracovník VÚRV Praha Ruzyně (v současnosti na penzi)
opidum@volny.cz

Summary

Current climate change is called global warming, because the average temperature of the Earth's surface is increasing. The climate is probably changing much more rapidly now, than in the past. The history of climate change and its causes from prehistoric times to the present is briefly presented, especially in the last two thousand years. The known and assumed causes of the mentioned phenomenon are also listed, including a confrontation of the views of individual scientific fields. However, it is necessary to start from the generally known fact, that the interpretation of a certain phenomenon was, is and will always be determined by the current state of knowledge regarding the problem. The history of science is proof of this.

Key words: climate changes, causes, history, views confrontation

Souhrn

Současná změna klimatu se nazývá globální oteplování, protože se zvyšuje průměrná teplota na povrchu Země. Klima se nyní pravděpodobně mění mnohem rychleji než v minulosti. Stručně je uvedena historie průběhu klimatických změn a jejich příčiny od pravěku po současnost, zejména však v posledních dvou tisících let. Uvedeny jsou i známé a předpokládané příčiny uvedeného jevu, včetně konfrontace názorů jednotlivých vědních oborů. Je třeba ale vycházet z obecně známé skutečnosti, že výklad určitého jevu byl, je a bude vždy dán momentálním stavem znalostí týkajících se analyzovaného problému. Historie vědy je důkazem.

Klíčová slova: klimatické změny, příčiny, historie, konfrontace názorů

ÚVOD

Letos, t. j. 6.9.2024 byla ohlášena historicky nejvyšší rekordní průměrná teplota zemského tělesa (=povrchu Země) +16,8 °C. Jedná se o období od počátku tohoto globálního měření - tedy jde o „krátkodobou historii“.

Klimatický systém Země získává většinu své energie ze Slunce a současně také vyzařuje energii do vesmíru. Rovnováha těchto dvou toků energie určuje energetický stav prostředí Země ve kterém žijeme. Pokud je příchozí energie vyšší, než odchozí tak se klimatický systém otepluje. Pokud více energie odchází, Země se ochlazuje. Klimatická změna je vývoj klimatu

probíhající jednostranně, např. směrem k oteplení nebo ochlazení. Jedná se o období od jednoho desetiletí po statisíce či více let v určitém regionu, nebo na Zemi jako celku. Dlouhodobé průměrné údaje a jejich variabilita v určité oblasti tvoří její klima. Tyto změny mohou být výsledkem vnitřní proměnlivosti, kdy přírodní procesy mění rozložení energie. Příkladem může být též multidekádní oscilace. Proměnlivost klimatu může být také důsledkem vnějších vlivů, jako jsou změny slunečního záření a vulkanismus. Změny klimatu mají důsledky pro změny hladiny moří a život na Zemi.

Cílem tohoto příspěvku jsou jen dvě věci. Ukázat, jak složitý mechanismus současného oteplování je, a aby čtenář pochopil, že ve sdělovacích médiích, ale i v odborné literatuře je „živen“ okleštěnými nekomplexními představami danými ekonomickými zájmy a za druhé, aby viděl obrovskou složitost problému včetně toho, že nás nepotkává něco úplně nového, ale něco co zde již v jiné podobě bylo. A mnohokrát.

Současné globální oteplování

V současnosti je zahrnuto do uvedeného hodnocení daného jevu přes 5000 meteorologických stanic na Zemi. Obecně se má za to, že klimatické změny probíhají, ale existují i názory, které toto tvrzení vyvracejí a postrádají slušný vědecky doložený informační obsah.

Ve čtvrtohorách, se ustálilo střídání ledových a meziledových dob o stovkách, respektive desítkách tisíc let. Současná éra, ve které žijeme – holocén – je poslední meziledovou dobou. Trvá již 10300 roků. V tomto časovém úseku dochází k tzv. klimatickým oscilacím – v trvajícím několik let až desetiletí. V současnosti hovoříme o stabilním a poměrně rychle se vyvíjejícím globálním oteplováním.

Udává se, že tento jev je převážně způsoben činností člověka. Hlavní změny k tomuto jevu přispívající jsou udávány následujícími údaji: Spalování uhlí, ropy a zemního plynu a některé další činnosti, které mění složení atmosféry a přidávají do ní skleníkové plyny. Skleníkové plyny mění prostup tepelného záření atmosférou a ovlivňují tak celkovou energetickou rovnováhu planety, takto zvětšený skleníkový efekt pak způsobuje oteplování se známými důsledky. Udává se, tedy spíše se předpokládá, že změna klimatu bude přímo závislá na dalším množství do atmosféry dodávaných skleníkových plynů, které ještě do atmosféry vypustíme. Stromy, tedy lesy pomáhají regulovat klima tím, že absorbují CO₂ z atmosféry. Když jsou pokáceny, tento příznivý účinek se ztrácí a uhlík uložený ve stromech se uvolňuje do atmosféry, což přispívá ke skleníkovému efektu. Krávy a ovce při trávení potravy produkují velké množství metanu, které prý má též vliv na skleníkový efekt. Hnojiva obsahující dusík produkují emise oxidu dusného. Fluorované plyny jsou emitovány ze zařízení a produktů, které tyto plyny používají. Tyto emise mají velmi silný oteplovací účinek, až 23 000krát větší než CO₂.

Současná, *pravděpodobně probíhající, změna klimatu* se též v literatuře nazývá globální oteplování, protože se zvyšuje průměrná teplota na povrchu Země. K proměnlivosti klimatu může docházet také v důsledku vnitřních z vnějšku nevynucených procesů např. u mořských proudů, třeba v termohalinní cirkulaci apod. Oceán a atmosféra mohou působit společně v interakci a tak vytvářet vnitřní proměnlivost klimatu, která může mít též vliv na celkovou změnu klimatu. Příkladem může být též multidekádní oscilace (od rovníku po 70. rovnoběžku). K

proměnlivosti klimatu mohou tedy přispívat procesy ve vnitru Země. Vliv změn klimatu a průběhu počasí na ekosystémy je poměrně značný.

Hlavním „motorem“ změny klimatu je skleníkový efekt. Toto je věta, kterou můžeme často číst. Některé plyny v zemské atmosféře působí trochu jako sklo ve skleníku, zachycují sluneční teplo a brání mu unikat zpět do vesmíru a způsobovat tak oteplování. Opakem v době ledové při vysokém stupni zalednění byla vysoká odrazivost dopadajícího záření zpět do vesmíru. Mnoho z těchto skleníkových plynů se vyskytuje přirozeně, ale lidská činnost zvyšuje koncentraci některých z nich, tedy hlavních plynů ovlivňující tyto změny v atmosféře, jedná se zejména o oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), oxid dusičitý (NO₂), fluorované plyny (celkem 11 látek). Fluorované plyny – podle klimatologů- mají údajně velmi silný oteplovací účinek, prý až 23000x větší než CO₂.

Vliv na potraviny a jejich zásoby

Hlavní faktory pro přežívání lidstva jsou zdroje energie a produkce a zásoba potravin. Produkce potravin na celé Zemi podle odhadů začne klesat při zvýšení globální teploty o více než 2 (3) °C. A tento bod nemusí být daleko. I v současné době vidíme, že regionální produkce potravin je nejvíce ovlivňována extrémními vlnami sucha (statisticky podchyceno).

Na celém světě roste asi 300 000 druhů vyšších rostlin. Člověk z nich využívá alespoň příležitostně přibližně jen 30 000 druhů. Intenzivněji je využíváno asi 12 000 druhů. Pro výrobu základních potravin a rostlinných surovin je ale běžně využíváno pouze 250 druhů. Velmi nepříznivé je i to, že se lidstvo soustředí jen na deset hlavních plodin. Mezi hlavní plodiny patří: rýže, soja, pšenice, brambory, kukuřice, čaj, banánovník, vinná réva, mák atd. Vzhledem k tomu že velkoplošné výkyvy počasí v rámci probíhající změny klimatu postihují důležité oblasti pěstování těchto plodin, které jsou často na enormně velkých plochách, tak výpadek v produkci může postihnout – a často též i postihuje, velké části lidské populace. Větší počet plodin na menších plochách by byl z hlediska budoucnosti výhodnější.

A/ HLAVNÍ ZMĚNY V SOUČASNÉM OTEPLOVÁNÍ

420 ppm koncentrace CO₂ v atmosféře v roce 2022 (z původních 280 ppm) /udává se růst o cca 48 %, v minulosti byla vyšší - počínaje kambriem, kde byla přes 4 tisíce ppm - poznámka autora/

+ 1,2 °C oteplení světa od druhé poloviny 19. století,

+ 2,1 °C ve střeně Evropě od roku 1960.

Pokles zalednění Severního ledového oceánu: (7,5 mil. km² v září 1980, 4,7 mil. km² v září 2021)

Zvýšení hladin oceánů od roku 1900 (20 cm do roku 2018, 80–150 cm, očekávané do roku 2150).

Nastává posun teplotních pásem, jak již bylo uvedeno, zejména na severní polokouli, zde to bylo dosud 40 kilometrů/10 let.

Na základě studie téměř dvou tisíc druhů koncem 20. století byl jejich postup k pólům v průměru o 6,5 kilometru/10 let. Rychlejší je tedy postup podnebných pásem. Tento fenomén není však dobrý pro řadu rostlinných druhů. Je však nutné dodat, že ne u všech druhů rostlin uvedené údaje platí. U dřevin, zejména u stromů, je takovýto rychlý přirozený posun nemožný, pokud nejde o umělou výsadbu, výjimkou jsou ale některé z nich, například buk lesní (*Fagus*

sylvatica), který má širokou klimatickou amplitudu a vyskytuje se od středozevní oblasti (Sicilie) až po jižní Švédsko, obdobně například bříza bělokorá (*Betula pendula*) je k nalezení od Španělska po Laponsko a posun podnebného pásma ji zatím neovlivňuje.

Z ekologických studií poměrně jednoznačně vyplývá, že více škodí rychlost změny teplot, jak vyšší (ne extrémní) teploty. Důsledek daného jevu pro změny v zemědělství a pro lesní hospodářství není třeba rozebírat.

B/ DALŠÍ VLIVY NA SOUČASNÉ OTEPLOVÁNÍ, KTERÉ LZE V LITERATUŘE NALÉZT

Obecně asi ale platí, že klimatické změny probíhají i z neznámých důvodů a člověk je posiluje svojí činností, a jako příčiny změn se udávají následující stručně uvedené jevy:

- a/ posun magnetických pólů Země má vliv na změny v průběhu počasí.
- b/ Sluneční aktivita má vliv na magnetické pole Země i s důsledky v průběhu počasí.
- c/ Vliv kosmického oteplování na oblačnost Země. Dánský fyzik Henrik Svensmark přisuzuje globální oteplování vlivu kosmického záření na tvorbu oblaků.
- d/ Za globální oteplování mohou freony. Názory se ale liší.
- e/ Příčinou může být postavení planet, vliv gravitačních sil atd. (viz změny klimatu i na planetách naší sluneční soustavy).
- f/ Za globální oteplování může pohyb Sluneční soustavy vzhledem ke Galaxii, tedy její poloha.

g/ Jedenáctileté sluneční cykly ovlivňují v některých oblastech Země fluktuace v klimatických projevech.

h/ Paleoklimatologická data za posledních 500 milionů let ukazují, že dlouhodobé změny teploty pouze slabě souvisejí se změnami obsahu oxidu uhličitého, nicméně v tom případě je naše období oteplování z hlediska jeho délky téměř nepodchytné, statisticky neprokazatelné.

ch/ Dansgaard Oeschgerovy oscilace. Jedná se o „svědka“ změn v minulosti. Počátkem 90. let ledovcové vrty v Grónsku přinesly zjištění, že takovýto kvazi cyklus existoval již v době ledové, s prudšími výkyvy (tzv. Dansgaard Oeschgerovy oscilace). Doklady o těchto oscilacích nacházíme i ve Středozevním moři. Těchto prudkých klimatických výkyvů bylo celkem 23.

i/ Heinrichovy vrstvičky. Další „svědek“ sděluje, že tento jev se odehrával i v minulosti jsou Heinrichovy vrstvičky, kdy v severním Atlantiku jsou nalézány několikacentimetrové vrstvy světlého písku prokazatelně pocházejícího z Kanady, tedy důsledek pohybu severských ledovců.

j/ Jiný výklad poskytují Milankovičovy cykly, což jsou kvaziperiodicky opakující se systematické změny v příjmu slunečního záření, způsobené výkyvy v oběhu Zemského tělesa kolem Slunce. Příčinou je „precese zemské osy“, což je zjednodušeně řečeno krouživý pohyb zemské osy přibližně po plášti dvojkužele. Ve stručnosti řečeno, oběžná dráha Země kolem Slunce, precese zemské osy, rotace a sklon zemské osy, nutace, změna excentricity (změna délky poloos zemské dráhy) a tím i měnící se úhly dopadu slunečního záření na severní a jižní polokouli podléhají různým orbitálním časovým škálám s dobou trvání od 25 800 do přibližně 100 000 i 405 000 let. Částečně vysvětlují přirozené změny klimatu, zejména jejich časové rozdělení v období čtvrtohor, a mají proto velký význam pro klimatologii a paleoklimatologii.

Za posledních 800 tisíc let se objevilo dvacetkrát vlhké období, kdy se Sahara zelenala následované obdobím sucha. Cykly určují, velmi stručně řečeno, pohyb zemské osy a situaci

kdy došlo k vlhkému období určuje eliptičnost orbity Země (vlhké období nastává při velké eliptičnosti dráhy, která má své pravidelné cykly změn).

Významné postavení Milankovičovy teorie v geologii má standardní časová stupnice „za posledních 650 000 let. Milankovičova teorie tak byla prvním přesvědčivým vysvětlením existence cyklů chladného věku a jasně zdůraznila ústřední význam (sub)polárních oblastí severní polokoule pro cyklické změny klimatu.

Tyto změny mohou na Zemi ovlivňovat řadu ekologických parametrů, jako například změny podnebí (zalednění, globální oteplování). Pokračováním výzkumů vrtů v ledovcích v Grónsku a na Antarktidě došli vědci k závěru, že na severní i jižní polokouli došlo za poslední 2 miliony let k 20 cyklům nárůstu a poklesu ledovcové pokrývky.

Další významná a zajímavá informace se týká náklonu roviny oběžné dráhy Země. Je to další významný faktor. Náklon roviny oběžné dráhy Země vůči rovině Slunce–Jupiter se dobře shoduje s periodicitou chladných věků během posledních 700 000 let pleistocénu (=starší období čtvrtohor). Jedná se o cyklus trvající přibližně 100 000 let. Perioda 40 000 let také může ovlivňovat monzuny, a tak i periodickou tvorbu pouští.

Jak je z dosud uvedených informací týkajících se uvedených fyzikálních jevů vidět, vše je to velmi složitý systém složený z dílčích funkcí.

k/ Bondovy cykly. Rytmus klimatických výkyvů v holocénu a v minulém glaciálu je statisticky stejný, jde o kvaziperiodický cyklus trvající 1470 ± 500 let. U těchto cyklů je prokázán jejich vliv na kolísání klimatu v posledních deseti a půl tisíci létech (holocén).

l/ Znamé jevy: El Niño, stručně posáno-oteplení povrchu oceánu, tj. objevení se nadprůměrné teploty povrchu moře ve střední a východní části tropického Tichého oceánu a jev La Niña jev, který je chladnějším protějškem jevu El Niño. Oteplení jevem El Niño způsobuje změnu atmosférické cirkulace nad Indonésií, Indií a Austrálií, ubývá srážek, ale nad střední a východní tropickou částí Tichého oceánu srážek přibývá. Vliv se projevuje i v Evropě. Existuje souvislost El Niño, čili ENSO- (El Niño, Southern, Oscillation) s lunárním cyklem slapů Měsíce s periodou 18,6 let. Tato perioda pak se projevuje ve stavu mangrovů (hladina moře) v daných porostech.

C/ VNITŘNÍ PŘÍČINA VARIABILIT

Oceány a ledovce, reagují na klimatické vlivy pomaleji pomaleji, zatímco zemský povrch a atmosféra reagují na teplotní změny jejich okolí rychleji. K proměnlivosti klimatu může docházet také v důsledku vnitřních zvnějšku nevynucených procesů např. u mořských proudů, třeba v termohalinní cirkulaci apod. Oceán a atmosféra mohou působit společně v interakci, a tak vytvářet vnitřní proměnlivost klimatu, která může mít též vliv na změnu klimatu.

D/ ZDROJE INFORMACÍ PŘED PRŮMYSLOVOU REVOLUCÍ (1850)

V těchto obdobích je již minimum meteorologických údajů. Jedná se zde zejména o využití proxydat. Proxydata jsou nepřímá data, která využíváme k tomu, abychom rekonstruovali významné historické a přírodní jevy, k nimž nemáme přímá data. Jinak bychom například nic nevěděli o životě v Juře atd. Proxydata dělíme základně na: přírodní zdroje a lidské zdroje. Přírodní zdroje jsou například: analýza ledovců, a mořských sedimentů, geologická analýza, paleontologická analýza, biologická analýza atd. lidskými zdroji mohou být: zdroje archeologické, zdroje dokumentární, první člověkem. Zjištěná měření.

E/ JEDNOTLIVÉ HODNOCENÉ ETAPY POPISU KLIMATICKÝCH ZMĚN

1. PRAVĚK

Tato část je jen nastíněná stručně, jedná se o epochu vývoje Země velmi vzdálenou současnosti.

Geologická období:

Předgeologické období před 4000-6000 miliony let.

Prahory před 1 900 - 4 000 miliony let.

Starohory před 600 - 1900 miliony let.

Prvohory (kambrium, ordovik, silur, devon, karbon a perm.), před 225-600 miliony let.

Druhoohory - mezozoikum (trias, jura a křída), před 65-225 miliony let.

Třetihory (paleogén, neogén vývoj nahosemenných a krytosemenných rostlin, éra savců), před 2,59-65 miliony let.

Čtvrtohory (pleistocén, holocén vývoj současných rostlin a člověka) před 0-2,59 miliony let

Celkově čtvrtohory (2,588 milionu let) vypadají oproti předchozím teplým obdobím jako „jedna velká doba ledová“. Jejich prvá část Pleistocén – představuje chladné období, je to doba ledová (pro člověka je to epocha doby kamenné).

Holocén: v jeho posledním období žijeme, trvá cca 11000 let. V holocénu se střídají teplejší období s obdobími chladnějšími (Bondovy cykly). Tohoto období se tedy týká většina údajů v této rešerši.

Poznámka: *Pro doplnění je třeba uvést, že z hlediska geologického, v dávné minulosti také doby ledové začínaly, když byly kontinenty v polohách, které blokují nebo snižují tok teplé vody od rovníku k pólům a umožňují tak tvorbu ledových plátů. Ledové příkrovy zvyšují odrazivost Země, a tím snižují absorpci slunečního záření.*

2. PREHISTORIE DVĚ VÝZNAMNÁ OBDOBÍ VYMÍRÁNÍ ŽIVOTA NA ZEMI

Před 252 miliony let (konec prvohor) vymřela většina života na Zemi. Paleontologové popsali příčinu, udávají, že to zavinily silné emise oxidu uhličitého. Vědci měřili různé izotopy boru ve fosiliích a sledovali vývoj pH, tedy to, jak se měnila kyselost oceánů. Podle ní se totiž dá změřit to, jak se vyvíjela koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Nová studie potvrdila, že dramatické změny způsobil oxid uhličitý, a vyvrátila původní hypotézu o vlivu metanu.

V kontrastu k této informaci, hodnotící vliv oxidu uhličitého, je nutno uvést, že v kambriu, v období již před 500 miliony let, které se vzhledem k velmi dávné minulosti zde v této rešerši již nepopisuje, dosahovala koncentrace uvedeného plynu pro nás neuvěřitelné hodnoty 4000 ppm (čtyři tisíce!!). V té době žili již naši předci, tehdejší obratlovci a přežili (tedy „neuvařili“ se díky oteplení daným koncentrací oxidu uhličitého, jak by vyplývalo ze současných představ).

Předkové člověka v Africe se před přibližně 900 tisíci lety ocitli na hranici vyhynutí. Podle nové studie čínských vědců bylo v této době na planetě jen asi 1280 jedinců a přibližně tolik jich pak žilo po dobu dalších asi 117 tisíc let. Teprve pak se předkům dnešních lidí začalo dařit o něco lépe. Lidé byli před 900 tisíci lety tak blízko vyhynutí, že jich v jednu chvíli bylo jen 1300. Za vše mohla tehdejší klimatická krize. Nová vědecká studie vrhá do jisté míry světlo na dávnou minulost lidstva. Přibližně před 813 tisíci lety se populace pravěkých lidí začala opět zvětšovat. Způsob přežití předků a co jim umožnilo znovu prosperovat, není jasné.

Pravděpodobně se tehdy lidstvo stáhlo do jedné lokality, podmínkou přežití mohla být sociální soudržnost.

Model detekoval snížení velikosti populace našich předků z přibližně 100 000 na přibližně 1 000 jedinců, které přetrvávalo přibližně 100 000 let. Zdá se, že pokles se shodoval jak s hlavní změnou klimatu, tak s následnými speciálními událostmi.

Během posledních 800 000 let (cca pleistocén) odhalují geochemické, geologické, paleoekologické a prehistorické údaje střídání dob ledových a meziledových. Tyto údaje se shodují s periodickými variacemi orbitálních parametrů Země, které mění sluneční energii přijímané Zemí. Pozitivní a negativní zpětnovazební smyčky jsou vždy na počátku a konci zalednění.

3. PŘÍPADY VÝZNAMNÝCH KLIMATICKÝCH VÝKYVŮ V POSLEDNÍCH 2000 LETECH OD ROKU NULA DO DVACÁTÉHO STOLETÍ

Pozdně antická malá doba ledová – rok 536 n. l.

Nejhorším rokem lidských dějin byl zřejmě rok 536 po Kristu. Trápil lidstvo zimou, hladem, nestabilitou, téměř tmou „nebe lidem upíralo zářící slunce“. Byl to nejhorší rok dějin, říká řada historiků. Příčinou byla ohromná sopečná erupce na Islandu, došlo k ní zničehonic nad ohromnou částí severní polokoule vytvořila závoj prachu. A navíc po ní následovaly dva další dramatické sopečné výbuchy, v roce 540 a 547. Přetrvávající dopad sopečné zimy z roku 536 se ještě zvýšil, když druhá sopečná erupce způsobila pokles letních teplot v Evropě až o 2,7 °C pod normál.

Letní teploty poklesly o 1,5 až 2,5 °C, lidstvo tam vstoupilo do nejchladnější dekády za posledních 2300 let. V teplé část Číny sněžilo, v Irsku se po tři následující roky nedala vypěstovat pšenice. V oslabené lidské populaci v roce 541 udeřil v římském přístavním městě Pelusium v Egyptě dýmějový mor, aby odezněl až za mnoho let.

Přetrvávající dopad sopečné zimy z roku 536 se ještě zvýšil v letech 539–540, kdy druhá sopečná erupce způsobila pokles letních teplot v Evropě až o 2,7 °C pod normál. Výsledkem bylo též zhoršení mezinárodních vztahů. Došlo k dobytí Levanty, Egypta a Persie. Došlo k poklesu populace v Negevské poušti a ke spoustě dalších událostí, které umožnilo určitým způsobem zhoršené či zlepšené počasí (v horkých pouštích).

Období 875-1194 (či 950 až 1250) - Klimatické optimum

Jedná se o označení pro období, které se vyznačovalo výrazným oteplením podnebí, především v oblasti Severního Atlantiku, ale souviselo také s dalšími klimatickými změnami té doby v jiných zemích. Pravděpodobně ale nešlo o globální jev. Hladiny světového oceánu byly kolem roku 1200 n. l. asi o 20 cm výše, než jsou dnes. Po tomto období následovala tzv. malá doba ledová. Některé zdroje používají pro toto období výraz středověká klimatická anomálie s ohledem na další důležité jevy, které v tomto období probíhaly.

Přes značné nejistoty, a to zejména pro období před rokem 1600, pro která nemáme dostatek dat, bylo období mezi 950 a 1100 nejteplejší obdobím za posledních 2000 let před začátkem 20. století. Teploty se ale tehdy pohybovaly asi o 0,1 °C a 0,2 °C pod průměrem let 1961–1990 a výrazně pod úrovní teplot po roce 1980. Záznamy proxy dat z různých regionů ukazují, že nejteplejší období různých regionů proběhlo v různých letech. Tato regionální tepla

období se nevyskytovala stejně koherentně ve všech oblastech jako oteplení koncem 20. století. Toto období se v některých částech světa vyznačovalo například populační explozí a expanzí obyvatelstva do oblastí, které byly předtím neobyvatelné. Období klimatického optima ukončila takzvaná malá doba ledová počátkem 14. století, kdy došlo k postupnému, ale výraznému, poklesu teplot a úbytku obyvatelstva

Teploty určené pro toto období byly určovány z proxy dat z ledovcových jader, letokruhů a jezerních usazenin. Popisy též udávají historické záznamy

Po celém světě existují důkazy o teplé periodě ve středověku, i když pro některé oblasti jsou data dost vzácná. Často jsou tato období spíše zdokumentována jako "období sucha" a "období dešťů".

Je pravděpodobné, že v některých oblastech teploty dosáhly, nebo i přesáhly současné teploty, ale globálně současných hodnot nedosahovaly. Největší teplotní maxima byly tehdy v oblasti Severního Atlantiku, Jižního Grónska Euroasijských arktických oblastí a některých částí Severní Ameriky a tato maxima byla výrazně vyšší, než průměry teplot v těchto oblastech na konci 20. století (za období 1961–1990). V některých oblastech, jako je centrální Eurasie, severozápadní část Severní Ameriky a (s menší jistotou) také v oblastech Jižního Atlantiku došlo naopak k anomálnímu ochlazení.

V období středověké teplé periody došlo v Evropě k populační explozi, ke které zajisté přispělo příznivé klima. Obilí bylo v té době pěstováno i v severnějších oblastech, v Norsku a na horách ve Skotsku. Předpokládá se, že počet obyvatel se v Evropě v letech 1100–1400 téměř ztrojnásobil. V důsledku toho byly mýceny lesy a získané plochy byly přeměněny na zemědělskou půdu. Zvýšená zemědělská produkce podpořila také vznik a rozšíření měst, kde probíhal obchod s plodinami.

Klima ve východní rovníkové Africe oscilovalo mezi obdobími suššími, a relativně vlhkými obdobími. Z literatury vyplývá, že v jižním Grónsku a v některých částech Severní Ameriky bylo v letech 950 až 1250 tepleji, než bylo v letech 1961–1990, v některých oblastech dokonce tepleji, než v letech 1990–2010.

Teplé období ve středověku umožnilo Vikingům kolonizovat Ameriku. Studie kombinující klimatologii a historii prokázala, že Grónsko bylo v minulosti opravdu zelené. V dobách, kdy zde žili Vikingové, se teploty podobaly těm dnešním. V dobách Vikingů totiž v Grónsku panovalo mimořádně nestabilní klima. V době, kdy se klima v Grónsku začalo měnit k méně stabilnímu, Vikingské osídlení zkolabovalo.

Období 1195 (1250) -1850 Malá doba ledová (Bondův cyklus 0?)

I když na většině severní polokoule bylo v letech 1400–1700 v průměru chladněji, tak v Labradoru a izolovaných oblastech USA bylo i v období malé doby ledové přibližně stejně teplo jako v období 1961–1990. Dále je třeba proto uvést, že i když bylo toto období v průměru chladné, že to nebylo stále a vyskytovala se i teplá období – variabilita byla tedy značná (viz za císaře Karla IV – pěstování révy vinné, za válek husitských se sklízely jahody i v období Vánoc atd.)

Malá doba ledová byla jedním z nejchladnějších období v posledních 10 000 letech, alespoň v rámci Evropy a přilehlých oblastí (viz například zánik Vikingského osídlení v této době v Grónsku). Studie University of Massachusetts Amherst vede k závěru, že před ochlazením někdy kolem r. 1400 se naopak výrazně dočasně oteplilo. Kdy z několika dále, z

literatury převzatých dat v rozmezí více než 400 let může znamenat začátek malé doby ledové. Celkově vzato, období jsou u jednotlivých publikací přibližně stejná, nikoli totožná.

1250: Začal růst atlantický led, chladné období, které bylo pravděpodobně mohutně zesíleno mohutnou erupcí sopky Samalás (ostrov Lombok v Indonésii) v roce 1257 a související sopečnou zimou. Nejjemnější částičky mohly vystoupat do výšky 40 kilometrů i více. Jinak by se podle nich nemohl tento sopečný materiál dostat na místa po celé zeměkouli včetně ledového příkrovu v Grónsku či Antarktidě. Dopad na klima byl značný. Radiokarbonové datování rostlin ukazuje, že byly zahubeny zaledněním.

1300: Doba, kdy přestala být teplá léta v severní Evropě spolehlivá.

1315: Nastaly deště a velký hladomor v letech 1315–1317, záplavy, neúroda, kanibalismus, požívání novorozenců, nedostatek krmiva pro dobytek.

1310 až 1330: V této době zaznamenala severní Evropa nejhorší a nejtrvalejší období nepříznivého počasí v celém středověku, vyznačující se tuhými zimami a chladnými, deštivými léty, nedozrálo obilí.

1347 200 milionů mrtvých, zásadní pokles populace, do roku 1350 zasáhl část Afriky, Indie, Arabské země a Čínu (25 milionů lidí).

1349 Morová Černá smrt vyplenila na polovinu Evropy, aby o život připravila na 20 milionů lidí.

1560 až 1630 Začala celosvětová expanze ledovců, známá jako Grindelwaldská fluktuace.

1466-1618: Vliv minimální sluneční aktivity.

1650: Začátek nejchladnějších let v polovině této doby, tj. za první klimatické minimum.

Odborníci tuto klimatickou anomálii nedokáží přesně vysvětlit, nicméně bylo navrženo několik příčin: orbitální cykly, snížená sluneční aktivita, zvýšená sopečná činnost (vulkanická zima), změna proudění v oceánech, výkyvy lidské populace v různých částech světa způsobující zalesňování nebo odlesňování a přirozená proměnlivost globálního klimatu, cyklický pokles slunečního záření, změny v oceánské cirkulaci, změny oběžné dráhy a osového sklonu Země (orbitální síla), přirozená proměnlivost globálního klimatu

1638–1715: Celkově nejchladnějším obdobím malé doby ledové bylo 17. století. V té době se Slunce nacházelo v Maunderově minimu (1638–1715). Důsledkem byly extrémní zimy v Evropě. Další chladné periody byly v předchozím období na Spörerově minimu (1400–1510) a v pozdějším období při Daltonově minimu (1790–1830).

V těchto obdobích sluneční skvrny na povrchu Slunce téměř úplně zmizely. Slunce díky tomu vyzařovalo méně záření a následkem bylo chladné období. Předpokládá se, že existuje šest slunečních minim podobných tomuto, počínaje egyptským minimem v roce 1300 př. n. l., až do posledního, tj. minima Maundera. Ve všech těchto případech se vyskytoval drastický pokles globálních teplot. Astronomové očekávají další minimum po roce 2030, kdy by mělo začít ochlazování!!! (porovnej s predikcí globálního oteplování).

Rok 1815: Sopka Tambora proslula sérií erupcí, které začaly 5. dubna 1815 a vyvrcholily 10. dubna 1815. Erupci Tambory z roku 1815 lze jednoznačně zařadit mezi největší ekologické katastrofy, jaké lidstvo kdy potkaly. V roce 1815 zemřelo 100 000 lidí. Začalo to tím, že oblak sirných sloučenin vypuštěný Tamborou v následujících dvou letech zpozdil příchod indických monzunových dešťů. To vyvolalo na indickém subkontinentu sucho a neúrodu, horší ovšem byl vznik nového a smrtícího kmenu cholery. Následující rok 1816 byl pro velké množství

sopečného popela v atmosféře znám v Evropě a Severní Americe jako rok bez léta. V tomto roce došlo na severní polokouli k poklesu teploty o 0,5 °C.

Doplněk a informace pro pamětníky

Výbuch sopky Sv. Heleny (Mount St. Helens) má na paměti střední a starší generace v Kaskádovém pohoří na severozápadě Spojených států 18 května 1980. Jedná se o nejlépe zdokumentovanou sopečnou erupci v dějinách lidstva. Důsledkem výbuchu bylo chladné léto a velmi pozdní dozrávání plodin. Například jarní pšenice se ve střední Evropě sklízely až koncem září. Otázkou je, co by lidstvo dělalo při nečekaném silnějším výbuchu, což by se stalo zcela určitě dopravním, energetickým a potravinovým problémem.

V současnosti vzniká budoucí supervulkán, resp. probíhají jevy svědčící o jeho budoucím vzniku asi 300 kilometrů pod Tichým oceánem, dále nebezpečné může být pro svět Středozevní moře jako druhý případ a Yellowstone park. Pod Aljaškou údajně „spí“ další čtvrté monstrum.

4. GLOBÁLNÍ OTEPLOVÁNÍ: DVACÁTÉ A JEDNADVACÁTÉ STOLETÍ

Globální oteplování rozhodně není historicky první výraznou změnou klimatu. Současné teplé období totiž de facto začalo až na konci 19. století. Vzestup teplot koncem 19. století oproti předchozímu období byl nižší jak v současnosti, ale jedná se o mimořádně velmi podobný jev!! Pravdou je, že současný nárůst teploty (a koncentrace CO₂?) je však tak rychlý, že ani náhlé geofyzikální události v historii Země se současnému tempu nárůstu nepřibližují, jak uvádějí někteří autoři.

Udává se že 41 až 64 % preantropogenních (= před rokem 1850, který se bere jako přibližný počátek průmyslové revoluce) teplotních změn v desetiletém měřítku bylo způsobeno změnami slunečního záření a vulkanismem. Významný je i vliv změn klimatu a průběhu počasí na ekosystémy. Na naší planetě bohužel zmizí ročně stovky rostlinných druhů. Je to evidentně též vlivem člověka, ale nejen jeho vlivem, a pravděpodobně hlavně vlivem současných změn klimatu, průběhu počasí a dalších fyzikálních faktorů. Problematická je otázka, co začlenit do evoluce vyvolané postupnou změnou klimatu.

DISKUSE

Je třeba ale nutně vycházet z obecně známé skutečnosti, že výklad podstaty globálního oteplování je dán momentální úrovní znalostí uvedeného jevu. Příkladů projevů tohoto fenoménu je mnoho, jak předkládaných klimatologů, tak i z ostatních oborů (fyzika, astronomie, geologie, paleontologie.....). Přehled literatury k danému oboru je neuvěřitelně rozsáhlý a neuvěřitelně variabilní v údajích a není možno jej přiložit, nicméně u příkladů, kde se publikují opačné názory a předkládají jejich důkazy jsou některé citace pro věrohodnost přiloženy, neboť silně oponují, zřejmě oprávněně, obecně přijímané doktríně. Obsah www stránek s údaji se ale občas mění. Případným zájemcům je ale možno poslat citace dílčích klasických vědeckých prací.

Porovnání efektů, které mají vliv na globální oteplování a toho, co se hodnotí je zoufalé. Evidentně se jedná o komplexní vliv řady vlivů na současný stav, ale ve skutečnosti se hodnotí v drtivé většině publikací vliv škodících plynů vypouštěných člověkem – i když oprávněně. Komplexní pohled na současný stav z hlediska všech známých vlivů není prakticky k dispozici.

Klimatologové očekávají, další globální oteplování. Je opravdu mnoho publikací s tímto neustále velmi podobným zaměřením, jak bude zvyšování obsahu oxidu uhlíku a dalších sledovaných plynů postupně zvyšovat globální teplotu nicméně u některých těchto autorů lze nalézt paralelně i pravý opak, predikují po roce 2030 postupné ochlazování díky pravidelnému poklesu sluneční aktivity. Zde se proto raději zdržím komentáře.

Přes dva tisíce článků dala dohromady Evropská komise EU a výsledkem je čistě politické smýšlení a zneužití (zřejmě nevědomé) vědy. Snížení emisí dalších skleníkových plynů (oxid uhličitý, metan, oxid dusičitý, fluorované plyny) prý může mít silný vliv na zpomalení globálního oteplování – zejména v krátkodobém horizontu. Aby se globální oteplování úplně zastavilo, musí emise CO₂ celosvětově dosáhnout čisté nuly. Obdobné závěry má i OSN. A ostatní faktory mající vliv na oteplování? Závěry EU jsou v podobě, jako by u nich zdroje informací neexistovaly. (UNIE:https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en).

Jen jako malý příklad je možno uvést korelace mezi změnou teplot a změnou sluneční aktivity, která se pohybuje kolem **+0,80++** a to jak za posledních přibližně 150 let, tak velmi pravděpodobně za poslední tisíciletí.

Plynatost skotu. Velmi zvláštní a velmi diskutabilní problém je tzv. negativní vliv plynatosti skotu, produkce metanu na vývoj klimatu. Z mnoha důvodů je například opatření dánské vlády, které má omezit produkci metanu skotem kvůli domněnce (důkazu?), že skot, který díky způsobu trávení produkuje metan, zamořuje planetu, tudíž mění klima, poněkud zvláštní. Z hlediska autora této rešerše se jedná o pravděpodobnou „science fiction“. Čtenář promine další úvahu: Před šedesáti léty byl počet obyvatel Země na hodnotě dvě miliardy, dnes je to prakticky osm miliard, lidé tedy více škodí přírodě. A nyní, vezmeme-li si lékařské, dostupné oficiální údaje o lidech u daného problému (dílní čísla a výpočet přeskočím), tak naše současná populace ten skot překonává..... Budeme tedy také užívat něco na....., aby se Země nepřehřívala? Asi je to nesmysl..... Toto opatření týkající se „kraviček“ spíše zavání politikou tonoucího, co se „*stébla chytá*“.

Souhrn protinázorů, jak uvádí Ian Plimer (Heaven and Earth: Global Warming, the Missing Science. Paperback – July 16, 2009) by se dal vyjádřit slovy tohoto autora takto: Změny klimatu jsou cyklické a jsou řízeny polohou Země v galaxii, Sluncem, kolísáním na oběžné dráze Země, mořskými proudy a deskovou tektonikou. V dřívějších dobách byl obsah atmosférického oxidu uhličitého mnohem vyšší než v současnosti, ale nezpůsobil změnu klimatu. V dobách nadměrně vysoké koncentrace oxidu uhličitého se nevyskytoval žádný skleníkový efekt nebo kyselé oceány. Během minulých zalednění měl oxid uhličitý vyšší koncentraci v ovzduší nežli dnes. Vliv CO₂ na oteplování? Záměna příčiny a následku!! Je třeba respektovat informovaný nesouhlas a dávat si pozor na ideologii, která podvrací důkazy. Nikdy se neprokázalo, že by lidské emise plynu života poháněly globální oteplování. Velké části jiných výsledků vědy jsou ignorovány.... „Nemám názory, ale prokazatelná fakta tvrdí autor. Profesor Plimer a popisuje environmentalismus jako „novodobé náboženství“, jelikož v otázce změny klimatu dochází velmi často k záměně příčiny a následku.

Další velmi zajímavé výsledky uvádí Robert Lea (By Robert Lea, How the Red Planet influences Earth's climate and seas published March 12, 2024 <https://www.space.com/mars-gravity-influences-earth-climate-seas>).

Mars, který se příliš neliší od způsobu, jakým gravitace Měsíce vytváří přílivy v zemských mořích, vytváří přílivy hluboko ve světových oceánech již zřejmě 2,4 milionu let, což je zjištěné pouze díky pohřbeným sedimentům, které dokumentovaly tyto podmořské víry. Geologové mají důkazy, že gravitační interakce mezi Marsem a Zemí pohání cyklus hlubokomořské cirkulace a globálního oteplování. Spojení mezi Marsem způsobuje, že hluboké proudy narůstají a ubývají, a to souvisí s obdobími zvýšené sluneční energie a teplejším klimatem. Hlubokomořské proudy tedy slábnou a znovu mohutní až do podoby obřích vírů. Výzkum by mohl pomoci odhalit, jak změna klimatu ovlivňuje cirkulaci oceánů. Každých 2,4 milionu let se oběžná dráha Marsu přiblíží k Zemi natolik, že ji může i naklonit obvyklou dráhu a orientaci Země. Země je tedy gravitační silou Marsu přitahována o něco blíže ke Slunci, otepluje se klima, což zase rozvíří mořské proudy a zesílí je. Uvedný jev je však vždy v interakci s ostatními vnějšími vlivy. Zde se však jedná o dlouhodobou záležitost.

Ian C McClintoc (Proof that CO₂ is not the Cause of the Current Global Warming <https://www.lavoisier.com.au/articles/greenhouse-science/climate-change/mcclintock-proofnotco2-2009.pdf>) uvádí, že existuje mnoho důkazů, které podporují tvrzení, že antropogenní emise skleníkových plynů nejsou hlavními hnacími silami globální změny klimatu, nicméně údaje uvedené v této publikaci jsou dostatečné k přesvědčivému prokázání tohoto případu. Různými metodami dokazuje, že klíčová hypotéza IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) a její příznivci selhávají a že neplatí, že člověkem vyvolané emise CO₂ a další skleníkové plyny jsou příčinou současného oteplování období, Teorie IPCC je prý ve skutečnosti podporována pouze počítačovými modely, tedy způsobem jejich sestavení.

Změna klimatu na tělesech obíhajících slunce. Pozorování získaná Hubbleovým teleskopem, teleskopem Jamese Webba, pozemními přístroji a satelity odhalují, že změna „klimatu“ probíhá i na oběžnicích slunce.

Dalším, s určitou pravděpodobností, důkazem, že samotný CO₂ není hlavním hnacím motorem oteplování na této planetě, je změna klimatu a oteplování na Marsu, Tritonu /Neptunově měsíci/, Plutu a Jupiteru. Všechna tato tělesa vykazují globální oteplování či změnu „klimatu“. Slunce je hlavním faktorem při určování klimatu v celé sluneční soustavě. K tomuto oteplování a změně klimatu nedochází na všech tělesech, která jsou součástí sluneční soustavy (Uran - ochlazování). Planety a měsíce, o kterých se tvrdí, že se ohřívají, či mění „klima“ tvoří osm z desítek velkých těles ve sluneční soustavě. Platí však, že všechny vnější planety mají mnohem delší oběžné doby než Země, takže jakákoli změna klimatu na nich může být sezónní.

Mars: Existují důkazy o tom, jak probíhaly klimatické změny na Marsu. Nová data naznačují teplejší a vlhčí klima na Marsu v minulosti. Současná atmosféra Marsu je tvořena z 95 % z oxidu uhličitého, předpokládá se oteplování.

Pluto: Naměřeno oteplování.

Jupiter: Jupiter ztratil svou ozdobu, jižní rovníkový pás. Nikdo neví proč, a navíc obří skvrna na Jupiteru se scvrkává kvůli změně klimatu a vytváří se další skvrny.

Triton (měsíc Neptunu): Triton, se od návštěvy sondy Voyager v roce 1989 zřejmě výrazně zahřál. Triton je mezi velkými měsíci Sluneční soustavy jedinečný v tom, že se pohybuje po retrogradní dráze.

J. van Vliet, <https://www.science-climat-energie.be/pourquoi-leffet-du-co2-sur-le-climat-est-exclu-par-la-physique/> v článku „Pourquoi l'effet du CO₂ sur le climat est exclu par la physique“ doslova uvádí, že klimatologové, kteří tvoří zpolitizovaný poddruh klimatologů,

už třicet let sázejí na špatného koně, když mluví o skleníkovém efektu způsobeném antropogenním CO₂. Fyzikální zákony jsou jasné a ty tento efekt prakticky vylučují. Klima tedy bude pokračovat ve svém neúprosném pochodu směrem k oteplování či ochlazení pod vlivem Slunce a pohybů naší planety na její oběžné dráze.

Peter Langdon Ward předkládá v článku *Nine Fundamental Mistakes in the Physics of Heat and in Greenhouse-Warming Theory*.

Devět základních chyb ve fyzice tepla a v teorii skleníkovým efektem oteplování skleníků. Teorie skleníkového oteplování se rychle stává nejdražší chybou v historii vědy. Klimatická věda je ve stavu krize, protože klimatologové, ohledně teorie skleníkového oteplování, odmítají čelit pozoruhodně jasné fyzikální realitě, že teorie skleníkového oteplování není fyzicky možná. Oxid uhličitý tvoří pouze 0,04 % atomů a molekul ve vzduchu. Jakékoli zvýšení energie vyplývající z absorpce oxidem uhličitým musí být sdíleno s 2500 dalšími molekulami a atomy.

David R. Henderson, ve svém článku *The Relationship between CO₂ and Global Warming* <https://www.desmog.com/david-r-henderson/>, dokládá z hlediska matematické analýzy, že je velmi špatná metodika zaměřovat se na jednu proměnnou, koncentraci CO₂, a nedívat se na další faktory, které by mohly způsobit globální oteplování. Jeden faktor, desítky vlivů pokládá za špatné řešení.

Za zajímavé faktory mající pravděpodobně velký vliv na vývoj klimatu je třeba považovat - rotaci vnitřního jádra země a vliv ozonové díry.

1/ Rotace vnitřního jádra země. Zjistilo se, že rotace vnitřního jádra (v hloubce 2900 km pod povrchem, představuje 31 % hmotnosti Země, předpokládá se převaha Fe, Ni) nejen zpomalila, ale dokonce také otočila směr rotace, změna by mohla způsobit změny v délce dne o zlomky sekundy. Chování vnitřního jádra je úzce spojeno s magnetickým polem Země. Tento jev může, pravděpodobně, ovlivnit klima, hodně se o daném jevu diskutuje, existují nepřímé důkazy, ale přímý důkaz vlivu na klima zatím nebyl publikován (Nuño Domínguez Jan. 25, 2023 - 15:14 CET <https://english.elpais.com/science-tech/2023-01-25/how-the-earths-inner-core-affects-weather-and-climate-events.html>, Wang, W., Vidale, J.E., Pang, G. et al. Inner core backtracking by seismic waveform change reversals. *Nature* (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07536-4>).

2/ Ozonová díra. U tohoto jevu bylo mnoho diskusí a je dosud, tedy zda rozklad ozonu býval a nepřímo je považován za vliv na změnu klimatu. Ozonová díra vznikala rozkladem stratosférického ozonu sloučeninami chloru (především CF₂Cl₂ dichlor-difluormethan, Freon 12 a CFCl₃ chlorid kalifornitý) a bromu uvolňovanými fotochemickým rozkladem některých antropogenních produktů. Poškození ozonové vrstvy a globální změna klimatu spolu souvisí nepřímo, protože jak látky poškozující ozonovou vrstvu, tak jejich náhražky jsou „skleníkové plyny.“ Na jižní polokouli a v Antarktidě ozonová díra přispěla změnou spektra dopadajícího na Zemi nepřímo na změny povrchového klimatu a na cirkulaci atmosféry. V současnosti nárůst používání náhradních plynů HFC (hydrofluorovodíků), které jsou oproti freonům neškodné, ale udává se, že se jedná o mnohem silnější skleníkový plyn, nežli je oxid uhličitý, a mohl by tak daleko výrazněji ovlivnit globální klimatické změny.

Látky poškozující ozonovou vrstvu a skleníkové plyny mění řadu procesů v atmosféře tak, aby se zvýšilo jak globální oteplování, tak poškozování stratosférického ozonu. Tyto změny mají za následek oteplování troposféry a ochlazování stratosféry. Ta na rovníku sahá do výšek kolem 17 km, na pólech do 8 km.

V případě ozonové díry lze zmínit mezinárodní úspěch dvou jednání, kdy se lidstvu podařilo zabránit jejímu zvětšování (22. 3. 1985 Vídeňská konvence o ochraně ozonové vrstvy, Montrealský protokol byl podepsán 16. 9. 1987 - eliminace vypouštění 99 % látek).

HISTORIE KLIMATICKÝCH KATASTROF - DOPLNĚK

Příklady vlivu klimatu na historii lidstva jsou velmi bohaté, je jich mnoho, zde jsou uvedeny jen ukázky známých událostí souvisejících s klimatickými změnami a s mimořádnými vlivy počasí. Letopočty se u různých autorů částečně liší. Vyjímecně i více. Je nutné také brát v úvahu, že i když se celkově ochlazovalo či oteplovalo, byly dílčí projevy jednotlivých lokalit odlišné.

Největším nepřítelem raných zemědělců, ale mnohem později také obyvatel středověkých států se nicméně nestávaly výkyvy teplot, nýbrž katastrofy související s vodou-tedy spíše období sucha, jak dokládají údaje z historie. Je třeba počítat s dlouhými obdobími sucha, zvyšující se variabilitou počasí a adekvátně na to v produkci rostlin reagovat. V tom to se shodují všechny směry výzkumu.

Při pohledu do historie, období sucha z historického hlediska vedou k problémům, které lidé řeší buď adaptací nebo migrací či válkami o zdroje vody i když zástupný problém bývá jiný. I když ne všichni souhlasí s tím, že změny klimatu měly velký vliv na minulé civilizace, přesto předpokládejme, že klimatické změny sehrály svou úlohu. Těmito problémy se zabývají tři obory.

Historická klimatologie je studium historických změn klimatu, jejich vlivu na civilizaci, a naopak od vzniku homininů až po současnost.

Paleoklimatologie, která zahrnuje změnu klimatu v celé historii Země.

Ekologický determinismus. V 18. a v 19. století antropologové tvrdili, že životní prostředí formuje charakter. Současní antropologové taková tvrzení odmítají. Výkyvy počasí ale mohou rovněž způsobit pohromy v podobě kobylek nebo jiných škůdců a také epidemie mezi lidmi, kteří jsou oslabeni strádáním. Když se nepodaří udržet určitý počet obyvatel nebo způsob života, může následovat kolaps. Klima bylo pravděpodobně vedle politických selhání a vpádu barbarů jedním z faktorů pádu některých společností.

Katastrofy, které změnily svět díky zvrátům klimatu, a které nemají úplně dokázaný celosvětový vliv dosáhly obrovského počtu, jako příklad jsou zde dále uvedeny jen některé.

Indie před 4000 let př.n.l. (Bondův cyklus č. 4?). Jedna z prvních pohrom se odehrála přibližně před čtyřmi tisíci lety, kdy do indických městských států Harappa a Mohendžodaro vtrhli nájezdníci ze severu. Pád zřejmě způsobilo dlouhotrvající sucho a ochlazení, které tyto městské státy oslabilo a nebyly obranyschopné. Devastující srážkové minimum se však zřejmě nedotklo jen indického subkontinentu. Toto ochlazení vytvořilo příznivé podmínky pro vznik prvních civilizací v Sumeru a v Egyptě, které vynalezly písmo. Současné vysychání do té doby zelené Sahary vedlo k migracím, například do nilského údolí.

Starý Egypt. Katastrofální vlna sucha a ochlazení v letech 2150–1990 př. n. l. (Bondův cyklus č. 2). Jeho historie jsou na rozdíl od starších a novějších etap zmapovány tak málo, že se o nich dokonce mluví jako o temné éře nebo o prvním přechodném období. Jistou představu o tehdejší situaci přináší biblická kniha Genesis. Píše se v ní o sedmi letech hladu, který sužoval země okolo Egypta, načež se hladomor přesunul až k deltě Nilu. Ještě výmluvněji pak dopady krize líčí tzv. Ipuwerův papyrus: „Podřízený se stal nadřízeným, země je rozvrácena, lidé vydávají zákony, které jsou proti zemi, lidé berou člověku majetek, pán je v nedostatku.....“.

Zánik sumerských měst kolem roku 2000 př. n. l. V této době totiž zanikla řada sumerských měst. Vyspělá sídla vynálezců prvního písma podle dochovaných zdrojů padla do rukou mnohem zaostalejších Elamitů a Amorejců. A, že lze vinu za jejich zánik opět přiřknout vrtochům počasí, dokládá i dobový žalozpěv „Nárek nad zkázou Uru“, v němž se mimo jiné píše: „Ze Sumeru království odnesli /Eufrat a Tigris na zpustošených březích jen plevel rodily / Úrodná pole pouze bodláky plodila/ Zahrady bez štěpů samy od sebe zahynuly...“

Indické civilizace přibližně v období 2000 let př.n.l. Pravděpodobnou příčinu rychlého úpadku vyspělých indických civilizací nakonec vysvětlil výkyv klimatu. Okolo roku 1900 př. n. l. došlo v jejich okolí k náhlému vysychání řek a polí. Za zkázou jedné z nejrozvinutějších kultur starověku tak stála extrémní sucha následovaná nejspíš hladomory, takže se místní lidé proměnili ve snadný terč.

Zajímavost související se změnami klimatu. Vyhynutí posledních mamutů na Wrangelově ostrově okolo roku 1500 př n. l., díky výrazným výkyvům počasí, nepříznivým pro život.

Poslední mamuti vyhynuli, až v době „starého Egypta“ v době kdy již stály s pyramidami. Mamuti trpasličí odolní vůči negativním podmínkám, vymřeli na Wranglerově ostrově kolem roku 1500 před našim letopočtem, přičemž existence člověka je zde doložena až pět set let po této události, což jej vylučuje z podílu na vymření mamutů.

Proč byli nalezeni zamrzlí jedinci s plným žaludkem? Mamuti vyhynuli, když se na konci doby ledové, klima v této oblasti stalo více kontinentálním, s chladnějšími zimami, teplejšími léty. Tamní povrch byl a je promrzlý do hloubky. Blízko pod zemí vytvářely ponorné vodní toky zrádné tunely, zřejmě i hojnost rašeliny - pasti pro těla mamutů. Když zvíře do některého zapadlo, chlad jeho tělo uchoval po mnoho tisíc let. Rašelina představuje kyselé vodnaté prostředí s nízkým obsahem kyslíku, s vynikajícími konzervačními vlastnostmi. Hypotéz je však více. Situace je podobná i u nálezů klíčících semen z permafrostu, tisíce let starých.....

Nejvýznamnějším kandidátem na takovou událost je extrémní počasí. Jedná se o jev podobný nálezům lidských těl v irských bažinách, vlastně napříč celou severní Evropou. Mohou být staré třeba až čtyři tisíce let (existují i nálezy, které pocházely z doby 8,5 tisíce let před našim letopočtem).

Temný věk Řeků. V období 1200 až 850 př. n. l. existovalo dlouhé období sucha. Autoři výzkumů tohoto období dospěli k závěru, že v té době se Středozevní moře ochlazovalo a výsledkem bylo menší odpařování vody a následný pokles dešťových srážek na obrovském území. Ve stejném období navíc zkolabovalo několik jiných kultur, například Nové království v Egyptě. Celé toto období se nazývá kolapsem starší doby bronzové.

Homérské minimum je další velký klimatický výkyv, který podstatně zamíchal kartami dějin, souvisel s vlnou extrémního sucha. Sucha zasáhla Asii a Evropu v letech 843–775 př. n. l. a odborníci toto období někdy označují jako „homérské minimum“. Bezmála sedm dekad

nedostatku srážek provázela v první řadě rozsáhlá migrace v severní a střední části Apeninského poloostrova Homérská minima však dost možná rozpochovala i migrační vlnu známou jako „řecká kolonizace“. Probíhala zhruba v letech 750–550 př. n. l.

Sucho počátkem 2. století n. l. S počátkem 2. století n. l. totiž nastoupilo dlouhotrvající sucho a písek ze Sahary zavál egyptská pole, jež dlouho tvořila hlavní sýpku Říma. Obilí se nerodilo ani v Hispánii a na Sicílii, a říše tak musela hledat plodící půdu jinde.

Sucha v Evropě kolem roku 130 n. l. Tato sucha zachvátila Evropu a trvala téměř tři století, načež po krátké pauze propukla v roce 475 nanovo a završila se až s letopočtem 618 (přibližně). Koncem 4. století se přitom římské impérium rozpadlo na dvě části a o něco později západní říše zcela zanikla (po roce 476).

Podobné události byly i na americkém kontinentě, řada událostí probíhala paralelně s událostmi na našem kontinentě, či se souběžně vyskytoval nějaký extrém. Toto je známo i v současnosti, kdy se globálně sice otepluje, ale na americkém severozápadě jsou kruté zimy.....

Často ale události měly právě opačný trend na jednotlivých částech Země. Celková analýza všech oblastí na Zemi vždy pro daná historická období chybí. Bohužel. Zdá se však, že Země jako celek prožívala teplá a studená období delšího charakteru, trvající i stovky let, ale v rámci daných období jsou vždy na Zemi lokality s odlišnými projevy uvedených jevů.

Appendix: příklad uvedeného jevu. Jmenovaná Mayská říše, vznikla v Mexiku a ve Střední Americe kolem roku 2000 př. n. l. Zemědělci zde pěstovali kukuřici, dýně a fazole. Dešťové srážky byly dostatečné mezi roky 550 až 750, což možná vedlo k růstu počtu obyvatelstva a k vrcholnému období staveb velkolepých děl kolem roku 721. Příští století však bylo obdobím krutého sucha, jež trvalo celé roky. Kolem roku 830 v období dlouhotrvajícího sucha nastal úpadek.

ZÁVĚR

1/ Země se v současnosti nachází v tzv. „pozitivní energetické nerovnováze“, t.j. přijímá z vesmíru více energie, než kolik vyzařuje zpět.

2/ Jestliže chceme „globální oteplování pochopit“, je čas vypustit to, čemu ve svém postoji dáváme přednost. Autoři často preferují určitý typ výsledků, včetně jejich podpory „asymetrickou“ literární rešerší (pak jde totiž o politiku a ne o vědu).

3/ Chybí syntetické práce, což publikace hodnotící daný jev nutně zkresluje, dostupných údajů jednotlivých disciplín je ale k dispozici mnoho.

4/ Poměrně často jsou rozdílné názory klimatologů, fyziků a geologů.

5/ V případě skleníkových plynů, zejména u CO₂, skupina fyziků na základě fyzikálních zákonů udává, že v dřívějších dobách obsah atmosférického oxidu uhličitého často mnohem vyšší než v současnosti, ale nezpůsobil změnu klimatu.

6/ Závěry jednotlivých oborů jsou dané momentální úrovní znalostí v dané problematice, což je ve vědě logické, ale někteří klimatologové neberou v úvahu fyzikální realitu.

7/ Udávané letopočty jednotlivých popisovaných období za posledních 2000 let jsou poněkud variabilní, u autorů se liší, nicméně daná období jsou prakticky vždy přibližně stejně vymezená ve všech zdrojích informací.

8/ Popis jednotlivých období většinou souhlasí s definovanými známými cykly (Bondův, Milankovičův.....), s dalšími méně známými cykly, nicméně v každém období navíc působí velká řada dalších vlivů, včetně jevů nečekaných (výbuchy sopek, atd).

9/ Při pohledu na historii změn klimatu, je jasné, že “historie“ se opakuje, a většina projevů změn klimatu v různých formách se již v minulosti de facto vyskytovala.

LITERATURA

Vzhledem k možnému rozsahu příspěvku je většina literatury – vlastně téměř všechna z cca 500 citací k dispozici u autora a na požádání je možno jí získat (česká, slovenská, francouzská, anglická literatura). Velmi zajímavá by byla část týkající se jednotlivých etap ve vývoji Země, kde by k důležitým faktorům majícím vliv na změnu klimatu přistoupila i otázka pohybu kontinentů a jejich vlivu na mořské proudy a dále tedy na vznik doby ledové a meziledové. Pokud jde o literaturu, jedná se o lokální a celosvětové katastrofy, hladomory, aktuální klimatické změny, hlavní klimatické změny v historii Země (jurské maximum, paleocén-eocén tepelné maximum, pleistocén doba ledová.....), geologické éry vývoje Země – prekambrium – fanerozoikum, od paleozoika po současnost. Dále se jedná o terminologii dané problematiky, příčiny jednotlivých změn, klimatologické příspěvky a v neposlední řadě jde o historii vědy o klimatu.

CIRKULACE ANTHELMINTIK V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ: PŘÍJEM, AKUMULACE A BIOTRANSFORMACE V ROSTLINÁCH.

CIRCULATION OF ANTHELMINTICS IN THE ENVIRONMENT: INTAKE, ACCUMULATION AND BIOTRANSFORMATION IN PLANTS.

Radka Podlipná¹, Lucie Raisová Stuchlíková², Lenka Langhansová¹, Barbora Szotáková²

¹Ústav experimentální botaniky AVČR v.v.i. Rozvojová 263, Praha 6

²Farmaceutická fakulta UK, Akademia Heyrovského 1203/8, Hradec Králové
podlipna@ueb.cas.cz

Summary

The extensive utilisation of anthelmintics in both human and veterinary medicine has resulted in the considerable introduction of these compounds and their metabolites into the environment, with subsequent impacts on terrestrial and aquatic ecosystems. Although acute toxicity is not observed at environmentally relevant concentrations, long-term exposure may result in adverse effects on non-target organisms. This review article demonstrates that plants are capable of absorbing these substances from the soil or water and subsequently biotransforming and accumulating them, even in aboveground parts, which represents a significant risk of transfer into the food chain. Concurrently, anthelmintics and their metabolites affect the condition and metabolism of plants, even in minimal quantities when exposed over extended periods.

Key words: anthelmintics, plants, biotransformation, phytotoxicity

Souhrn

Rozsáhlé používání anthelmintik v humánní i veterinární medicíně vedlo ke značnému pronikání těchto sloučenin a jejich metabolitů do životního prostředí s následnými dopady na suchozemské a vodní ekosystémy. Ačkoli akutní toxicita není při koncentracích relevantních pro životní prostředí pozorována, dlouhodobá expozice může mít za následek nepříznivé účinky na necílové organismy. Tento přehledový článek ukazuje, že rostliny jsou schopny tyto látky absorbovat z půdy nebo vody a následně je biotransformovat a akumulovat, a to i v nadzemních částech, což představuje významné riziko přenosu do potravního řetězce. Současně anthelmintika a jejich metabolity ovlivňují vývoj a metabolismus rostlin, a to i v minimálních množstvích při dlouhodobé expozici.

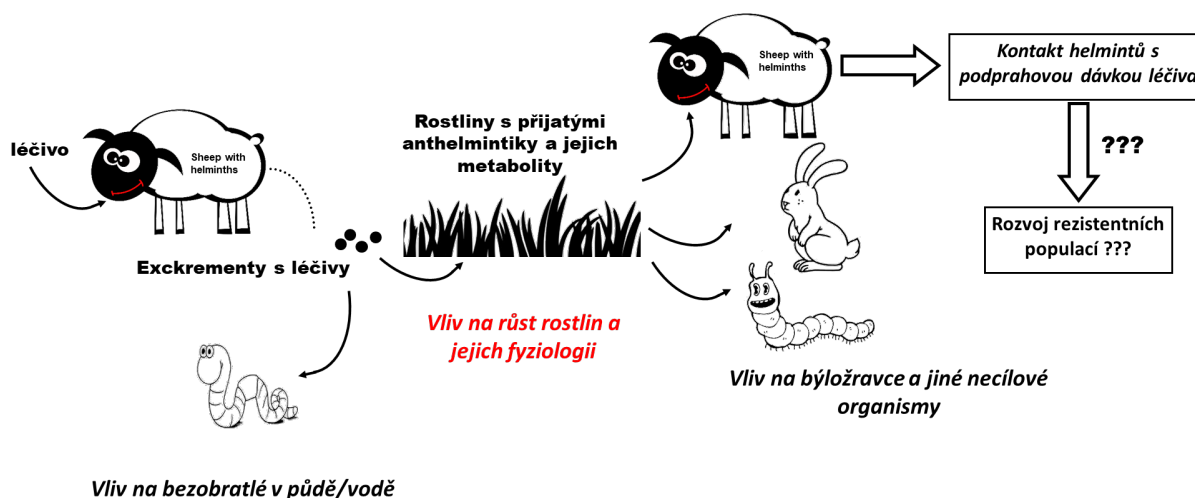
Klíčová slova: anthelmintika, rostliny, biotransformace, fytotoxicita

ÚVOD

Veterinární léčiva a jejich metabolity tak představují významné polutanty životního prostředí. Anthelmintika slouží k léčbě infekcí způsobených parazitickými červy-helmintry. Mezi parazitické červy patří ploché červy (motolice a tasemnice) a hlístice, tj. hlístice. Helmintózy hospodářských zvířat mají za následek značnou morbiditu a mortalitu, což vede ke značným socioekonomickým ztrátám. Anthelmintika se podávají širokému spektru zvířat v zemědělství a akvakultuře a tvoří velkou část farmaceutického průmyslu. Ačkoli užitečnost a nezbytnost anthelmintik je nezpochybnitelná, jejich široké používání vede ke kontaminaci životního prostředí a může mít škodlivé účinky na necílové druhy v důsledku hojného vylučování mateřské látky a metabolitů.

Obr. 1: Anthelmintika v ekosystému

Anthelmintika v ekosystému



Anthelmintika používaná v humánní medicíně se dostávají do kontaktu s rostlinami především prostřednictvím povrchových vod a kalů z čistíren odpadních vod. Rostliny se s anthelmintiky používanými ve veterinární medicíně setkávají především prostřednictvím exkrementů ošetřených hospodářských zvířat na pastvinách nebo aplikovaných na pole jako hnojivo [1]. Ve srovnání s bezobratlými nejsou interakce rostlin s anthelmintiky v takové míře prozkoumány [2]. Díky moderním citlivým analytickým metodám dnes víme, že rostliny jsou schopny tato léčiva přijímat z různých matric prostředí a následně je transformovat a/nebo akumulovat.

V rostlinách probíhá biotransformace anthelmintik a dalších xenobiotik obecně ve dvou fázích, které jsou velmi podobné fázím v jiných organismech. Ve fázi I převládá oxidace, redukce nebo hydrolyza xenobiotik, zatímco ve fázi II jsou xenobiotika a jejich metabolity fáze I konjugovány s endogenními sloučeninami, především s glutathionem nebo sacharidy. Nedílnou součástí metabolismu xenobiotik je aktivní transport substrátů, metabolitů a/nebo konjugátů přes membrány zprostředkovaný speciálními proteinovými transportéry. Obranné systémy rostlin proti potenciálně škodlivým xenobiotikům zahrnují nejen enzymy metabolizující xenobiotika, ale také enzymy snižující oxidační stres, jako jsou peroxidázy (POX), superoxiddismutáza (SOD), kataláza a glutathionreduktáza [3].

V závislosti na struktuře molekuly a mechanismu působení mohou být rozdělena do osmi hlavních kategorií: benzimidazoly, difenylsulfidy, imidazothiazoly, hexahydropyraziny, makrocyclické laktony, salicylanilidy, tetrahydropyrimidiny a ostatní [4]. V reakci na problém vzrůstající rezistence parazitů ke klasickým anthelmintikům byly vyvinuty další účinné látky – emodepsid, monepantel a derquantel. Většina studií o anthelmintikách byla dosud zaměřena na jejich množství v potravinářských produktech, jako je maso, mléko, vejce a ryby [5]; [6].

MATERIÁL A METODY

In vitro kultury byly získány ze semen sterilizovaných v 70% ethanolu po dobu 1 minuty a následně ošetřeny 1% chlornanem sodným doplněným 0,02% detergentem TWEEN 20 po dobu 10 min. Semena poté klíčila na agarovém MS médiu [7] při teplotě 25 °C. Semenáčky byly dále kultivovány v boxech Magenta při 16hodinové fotoperiodě s intenzitou 72 $\mu\text{mol fotonů/m}^2/\text{s}$.

Buněčné kultury byly získány z *in vitro* kultur kultivací listových disků na pevném MS médiu doplněném syntetickými fytohormony (0,225 mg/ml 2,4-dichlorfenoxyoctové kyseliny a 0,215 mg/ml kinetinu). Kalusové kultury byly kultivovány ve tmě při teplotě 25 °C a pravidelně každé tři týdny subkultivovány. Buněčná kultura byla poté přenesena do tekutého MS média a kultivována v Erlenmeyerově nádobě při 25 °C ve tmě na horizontální třepače čímž byly získány suspenzní kultury.

Hydroponické kultury *A. thaliana* byly pěstovány v 25 % Hoaglandově médiu [8], pH 6,2-6,3, v krátkých dnech: 8/16 h, při 21°C a 75% vlhkosti vzduchu.

Semena jetele a sóji zakoupená u společnosti AROS-osiva s.r.o. (Praha, Česká republika), byla vyseta květináčů se zahradním substrátem kompostu Agro Profi a pěstována ve skleníku (klimatizovaném na 23 °C, relativní vlhkost 60 %). Denní světlo bylo doplněno umělým pro udržení fotoperiody 16/8 h. Týden po výsevu byla půda doplněna nitrázonem (směs Rhizobium; Farma Žiro, s.r.o., Nehvizdy, Česká republika). Rostliny byly pravidelně zalévány vodou z vodovodu.

Metabolismus anthelmintik v rostlinném materiálu byl studován pomocí UHPLC-MS/MS (LC-MS 8030, Shimadzu).

VÝSLEDKY A DISKUSE

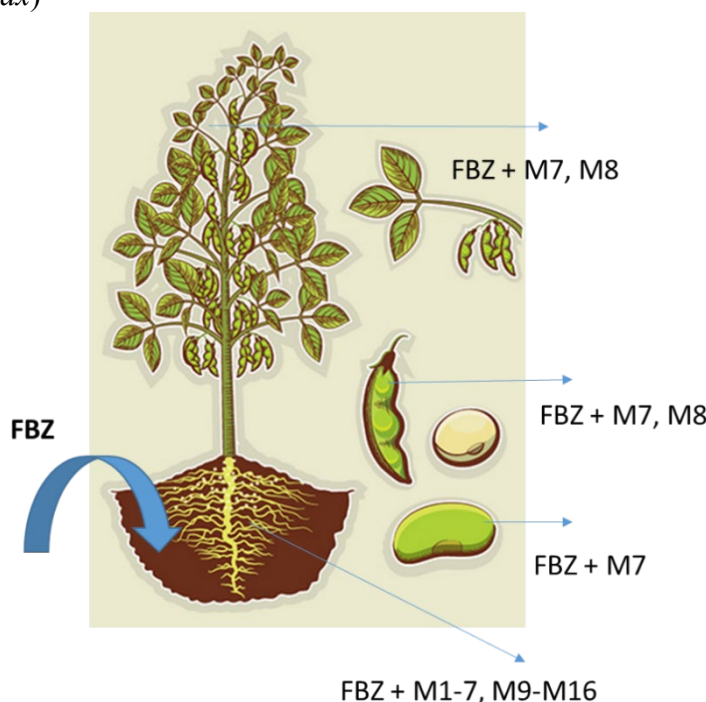
V roce 2013 jsme se začali zabývat interakcí rostlin s athelmintiky, v prvních studiích jsme se zaměřili na schopnost rostlinných buněk tyto látky dále metabolizovat. Nejdříve jsme studovali metabolismus benzimidazolových anthelmintik albendazolu (ABZ) a flubendazolu (FLU) v suspenzní kultuře rákosu obecném (*Phragmites australis*). Rákos byl vybrán proto, že tento druh rostliny byl často používán v budovaných mokřadech a byl již v minulosti úspěšně testován pro odstraňování dalších léčiv, jako je enrofloxacin, ceftiofur a tetracyklin, z odpadních vod [9]. V rákosových buňkách bylo identifikováno deset metabolitů ABZ. Nejvíce zastoupené byly ABZSO a ABZSO₂, ABZ a ABZSO dále konjugovaly s glukózou za vzniku atypických metabolitů, jako jsou glukosylglukosidy ABZ, acetylglukosidy a xylosylglukosidy (Podlipna et al., 2013). Další experimenty s jinými rostlinnými druhy ukázaly velké mezidruhové rozdíly v biotransformaci ABZ v rostlinách. V buňkách zvonku rozkladitého (*Campanula rotundifolia*) inkubovaných s ABZ bylo identifikováno 24 metabolitů, zatímco v buňkách jitrocele kopinatého (*Plantago lanceolata*), dalšího lučního druhu, vzniklo pouze 12 metabolitů. U jitrocele byla pozorována v I. fázi biotransformace nejen S-oxidace jako u rákosu a zvonku, ale také hydroxylace a hydrolýza ABZ. Pokud jde o II. fázi biotransformace ABZ, bylo prokázáno, že u všech druhů probíhá především N-glukosidace a O-acetylce [10, 11]

Při studiu biotransformace FLU v buňkách zvonku bylo zjištěno 18 metabolitů FLU [11]. FLU s redukovanou karbonylovou skupinou představoval hlavní metabolit I fáze biotransformace, následovala N-glukosidace, O-glukosidace a methylace, přičemž některé glukosidy byly následně acetylovány. Biotransformace FLU v buňkách rákosu vedla pouze k vzniku pěti metabolitů a ve srovnání s ABZ byl příjem FLU i jeho biotransformace pomalejší a méně rozsáhlá. Stejně jako u ABZ byl identifikován také atypický metabolit acetylglukosid FLU. Identifikace acetylglukosidů u obou strukturně odlišných léčiv naznačuje, že k O-acetylaci xenobiotických glukosidů může v rostlinných buňkách docházet poměrně často. Při studiu příjmu a biotransformace FLU v *in vitro* kulturách semenáčků jitrocele bylo zjištěno 12 metabolitů FLU. I v tomto případě převažovaly v I. fázi biotransformace karbonylredukce, hydroxylace a hydrolýza. Ve fázi II převažovala konjugace s UDP-glukosou, v menší míře také methylace a acetylce. V kořenech bylo nalezeno 11 metabolitů FLU, stejný počet (ale ne stejné metabolity) byl nalezen v bazální části listů a ve špičkách listů bylo zjištěno pouze 6 metabolitů. Parentní látka (FLU) byla nalezena ve všech částech rostliny [12].

In vitro kultury jitrocele byly použity také ke studiu biotransformace fenbendazolu (FBZ) [12]. FBZ byl transformován na 20 metabolitů prostřednictvím oxidace, hydrolýzy,

hydroxylace a následné glukosidace a acetylce. Při studiu biotransformace FBZ v hydroponické kultuře *Arabidopsis thaliana* bylo zjištěno 12 metabolitů (Stuchlíková et al., 2018). U sóji (*Glycine max*) pěstované v květináčích a zalévané roztokem FBZ docházelo k akumulaci FBZ ve všech částech rostlin – kořenech, listech, luscích, dokonce i v semenech. Nejvyšší biotransformační aktivita FBZ byla v kořenech, kde bylo zjištěno 16 metabolitů. Nejvíce zastoupenými metabolity FBZ v sóji byl hydroxylovaný FBZ a glykosylovaný FBZ, oba byly nalezeny také v listech a luscích. Hydroxylovaný FBZ byl nalezen i v semenech [13].

Obr. 2: Příjem fenbendazolu (FBZ) z půdy. Obsah FBZ a jeho metabolitů v různých částech rostlin sóji (*Glycine max*)



Pokud jde o benzimidazoly, byla testována nejen biotransformace, ale i jejich účinky v rostlinách. Ačkoli FBZ a FLU neovlivnily viabilitu v buněčných suspenzích, obě anthelmintika způsobila výrazný pokles SOD v buňkách jitrocele. Po expozici FLU se zvýšila aktivita také POX a snížila se aktivita glutathion S-transferázy (GST). Na druhé straně FBZ způsobil pokles POX a zvýšení aktivity GST. Koncentrace prolinu, známého markeru stresu rostlin, se při působení FBZ zvýšila dvojnásobně ve srovnání s neošetřenými buňkami. Transkriptomická studie provedená u *A. thaliana* odhalila vliv FBZ na expresi mnoha genů v kořenech i v listech [14]. Up-regulované (>2-násobná změna) proteiny se pravděpodobně účastní biotransformace FBZ v reakci na abiotický nebo biotický stres (kataláza a SOD), stejně jako v jiných biologických procesech, jako jsou toky energetických drah a v přenosu signálu. Na druhou stranu FBZ snižoval transkripci genů zapojených do fotosyntézy podobným způsobem, jak již dříve byla popsána u *Cyperus alternifolius* po expozici směsi čtyř farmaceutických sloučenin (karbamazepin, sulfametoxazol, ofloxacin a roxitromycin) [15].

Avermektiny jsou vysoce lipofilní, ve vodě téměř nerozpustné a snadno se vážou na organické látky v půdě a sedimentech. Tyto vlastnosti snižují mobilitu avermektinů v životním prostředí, i když usnadňují jejich přenos přes membrány organismů. Stejně jako ostatní avermektiny byl IVM dříve považován za neškodný pro rostliny, protože možnost jeho příjmu přímo z kontaminované půdy byla shledána zanedbatelnou [16]; [17]; [18]. Toto zjištění však bylo vyvráceno ve studii Iglesias et al. (2018), kde zjistili poměrně vysokou koncentraci IVM naměřenou v rostlinách rostoucích v blízkosti výkalů obsahujících IVM. Fytotoxicita IVM pak

byla prokázána standardním testem na *Sinapis alba*, během kterého bylo dosaženo 20% snížení délky kořenů rostlinek při pouhé koncentraci 50 nM IVM [19]. U *A. thaliana* pěstované v hydroponickém médiu doplněném IVM bylo nalezeno pouze šest metabolitů biotransformační fáze I a žádný metabolit fáze II [14]. Podobně sója pěstovaná ve skleníku a zalévaná roztokem IVM transformovala IVM pouze na 4 metabolity vzniklé hydroxylací a demetylací [20]. Při kultivaci suspenzních kultur a *in vitro* semenáčků jitrocele na médiu obsahující IVM (10 μ M) bylo v buňkách identifikováno kromě parentní látky také 6 metabolitů, v kořenech semenáčků 5, ale v listech pouze parentní látka, přesto byla v listech výrazně vyšší koncentrace prolinu jako indikátoru stresu [21]. Byly taktéž zaznamenány změny v aktivitě antioxidantních enzymů a to rozdílné v závislosti na rostlinném druhu. V kořenech a listech sóji bylo prokázáno zvýšení aktivity několika antioxidantních enzymů. U jitrocele IVM zvýšil pouze aktivitu katalázy, zatímco u *A. thaliana* IVM neovlivnil aktivitu žádného antioxidantního enzymu, ale dysreguloval více než 200 genů, převážně v listové růžici. Bylo zjištěno, že IVM u *A. thaliana* reguluje členy nadrodiny cytochromu P450, glykosyltransferázy, GST, přenašeče léčiv a četné geny zapojené do reakce na stres ze soli, sucha a napadení patogeny [14]. Přítomnost IVM v sóji navíc zvýšila celkové množství polyfenolů v listech i poměr isoflavonů a jejich glykosylovaných forem v semenech. Narušení produkce sekundárních metabolitů při ošetření IVM bylo popsáno také u jitrocele, u kterého byl pozorován výrazný pokles acteosidu a aucubinu, což jsou významné bioaktivní látky [22]. IVM měl negativní dopad na počet a hmotnost semen sóji [20].

Příjem a biotransformace amino-acetonitrilového derivátu monepantelu (MOP) byla studována u lučních rostlin vojtěšky seté (*Medicago sativa*) a jitrocele kopinatého. V rostlinách pěstovaných v květináčích zalévaných roztokem MOP vzniklo 9 metabolitů dvoustupňovou S-oxidací, redukcí karbonylové skupiny, hydrolyzací nitrilů, glukuronidací a sulfatací. Glukuronid hydroxylovaného sulfonu MOP byl identifikován v kořenech obou rostlin. To je velmi zajímavé zjištění, protože konjugace s kyselinou UDP-glukuronovou je nejčastější konjuguační reakcí xenobiotik u savců, ale u rostlin je zcela neobvyklá. Test toxicity MOP provedený v semenech vojtěšky neprokázal žádné negativní účinky na klíčení semen ani na růst kořenů [23]

Přehled studií metabolismu anthelmintik a jejich účinků v rostlinách uskutečněných ve spolupráci s Laboratoří rostlinných biotechnologií ÚEB AVČR je uveden v tabulce 1.

ZÁVĚR

Souhrnně lze říci, že moderní analytické metody prokázaly, že rostliny mohou absorbovat, metabolizovat a akumulovat anthelmintika z různých zdrojů prostředí a že existují druhově specifické rozdíly v jejich biotransformaci. Účinky anthelmintik na rostliny se značně liší, přičemž některé vedou ke změnám v enzymové aktivitě, genové expresi i produkci sekundárních metabolitů. Tyto účinky mohou mít negativní důsledky pro zdraví a vývoj rostlin s možnými důsledky pro ekosystémy a zemědělské systémy. Navíc zkrmování rostlin obsahujících anthelmintika hospodářskými zvířaty může přispívat k rozvoji rezistentních populací helmintů.

Tab. 1: přehled studií věnovaných interakci rostlin s anthelmintiky

Účinná látka	Rostlinný materiál	Metabolismus, vliv	odkaz
flubendazole	<i>Phragmites australis (in vitro)</i>	5 metabolitů	(Podlipna et al., 2013)
	<i>Campanula rotundifolia (in vitro)</i>	18 metabolitů	(Stuchlikova et al., 2016)
	<i>Plantago lanceolata (in vitro)</i>	Suspense 12, kořeny 11 a list 6 metabolitů,	(Stuchlikova et al., 2018)
albendazole	<i>Phragmites australis (in vitro)</i>	10 metabolitů	(Podlipna et al., 2013)
	<i>Campanula rotundifolia (in vitro)</i>	24 metabolitů	(Stuchlikova et al., 2016)
	<i>Plantago lanceolata (in vitro)</i>	12 metabolitů	(Raisova et al., 2017)
	<i>Medicago sativa (in vitro)</i>	21 metabolitů, změny v koncentraci prolinu	(Stuchlikova et al., 2020)
	<i>Trifolium pratense</i>	Příjem a biotransformace v reálných podmínkách, zvýšení activity antiox. enzymů (POX, GST)	(Langhansova et al., 2021)
fenbendazole	<i>Campanula rotundifolia (in vitro)</i>	29 metabolitů	(Stuchlikova et al., 2016)
	<i>Arabidopsis thaliana (in vitro)</i>	12 metabolitů, změny v transkriptomu a proteomu	(Syslova et al., 2019)
	<i>Plantago lanceolata (in vitro)</i>	20 metabolitů	(Stuchlikova et al., 2018)
	<i>Glycine max</i>	15 metabolitů v kořeni, 2 metabolity v listech a plodech, změny v aktivitě antioxidačních enzymů a v obsahu fenolů	(Podlipna et al., 2021)
ivermectin	<i>Sinapis alba</i>	Inhibice růstu kořenů	(Vokral et al., 2019)
	<i>Arabidopsis thaliana (in vitro)</i>	6 metabolitů, změny v transkriptomu a proteomu	(Syslova et al., 2019)
	<i>Trifolium pratense</i>	Příjem a biotransformace v reálných podmínkách, zvýšení activity antiox. enzymů (POX, APX, SOD, GST)	(Langhansova et al., 2021)
	<i>Plantago lanceolata (in vitro)</i>	6 metabolitů, změny v aktivitě antioxidačních enzymů, v obsahu proline a polyfenolů	(Navratilova et al., 2020)
	<i>Glycine max</i>	4 metabolity, změny v aktivitě antioxidačních enzymů a v obsahu významných fenolů	(Navratilova et al., 2020)
monepantel	<i>Trifolium pratense</i>	Příjem a biotransformace v reálných podmínkách, zvýšení activity antiox. enzymů (GR, SOD, GST)	(Langhansova et al., 2021)
	<i>Medicago sativa</i> <i>Plantago lanceolata (in vitro)</i>	9 metabolitů 7 metabolitů	(Stuchlikova, Jakubec et al. 2019)
praziquantel	<i>Phragmites australis (in vitro)</i>	Příjem a akumulace	(Marsik et al., 2017)

LITERATURA

- /1/ Stando, K., et al., *Uptake of Pharmaceutical Pollutants and Their Metabolites from Soil Fertilized with Manure to Parsley Tissues*. *Molecules*, 2022. **27**(14).
- /2/ de Souza, R.B. and J.R. Guimaraes, *Effects of Avermectins on the Environment Based on Its Toxicity to Plants and Soil Invertebrates-a Review*. *Water Air and Soil Pollution*, 2022. **233**(7).
- /3/ Cummins, I., et al., *Multiple roles for plant glutathione transferases in xenobiotic detoxification*. *Drug Metabolism Reviews*, 2011. **43**(2): p. 266-280.
- /4/ Horvat, A.J.M., et al., *Analysis, occurrence and fate of anthelmintics and their transformation products in the environment*. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 2012. **31**: p. 61-84.
- /5/ Dasenaki, M.E. and N.S. Thomaidis, *Multi-residue determination of 115 veterinary drugs and pharmaceutical residues in milk powder, butter, fish tissue and eggs using liquid chromatography-tandem mass spectrometry*. *Analytica Chimica Acta*, 2015. **880**: p. 103-121.
- /6/ Zhang, D., et al., *A simple extraction method for the simultaneous detection of tetramisole and diethylcarbamazine in milk, eggs, and porcine muscle using gradient liquid chromatography-tandem mass spectrometry*. *Food Chemistry*, 2016. **192**: p. 299-305.
- /7/ Murashige, T. and F. Skoog, *A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures*. *Physiologia Plantarum*, 1962. **15**(3): p. 473-497.
- /8/ Hoagland, D.R., *Special articles – Optimum nutrient solutions for plants*. *Science*, 1920. **52**: p. 562-564.
- /9/ Carvalho, P.N., M.C.P. Basto, and C.M.R. Almeida, *Potential of Phragmites australis for the removal of veterinary pharmaceuticals from aquatic media*. *Bioresource Technology*, 2012. **116**: p. 497-501.
- /10/ Stuchlíková Raisová, L., et al., *Evaluation of drug uptake and deactivation in plant: Fate of albendazole in ribwort plantain (Plantago lanceolata) cells and regenerants*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. **141**: p. 37-42.
- /11/ Stuchlikova, L., et al., *Metabolic pathways of benzimidazole anthelmintics in harebell (Campanula rotundifolia)*. *Chemosphere*, 2016. **157**: p. 10-17.
- /12/ Stuchlikova, L.R., et al., *Biotransformation of flubendazole and fenbendazole and their effects in the ribwort plantain (Plantago lanceolata)*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018. **147**: p. 681-687.
- /13/ Podlipna, R., et al., *Soybean (Glycine max) Is Able to Absorb, Metabolize and Accumulate Fenbendazole in All Organs Including Beans*. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021. **22**(13).
- /14/ Syslova, E., et al., *Ivermectin biotransformation and impact on transcriptome in Arabidopsis thaliana*. *Chemosphere*, 2019. **234**: p. 528-535.
- /15/ Yan, Q., et al., *Removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) and toxicological response of Cyperus alternifolius exposed to PhACs in microcosm constructed wetlands*. *Journal of Hazardous Materials*, 2016. **301**: p. 566-575.
- /16/ Macconnell, J.G., et al., *Relative stability, toxicity, and penetrability of Abamectin and ITS 8,9-Oxide*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1989. **37**(6): p. 1498-1501.
- /17/ McKellar, Q.A., *Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds*. *Veterinary Parasitology*, 1997. **72**(3-4): p. 413-426.
- /18/ Bai, S.H. and S. Ogbourne, *Eco-toxicological effects of the avermectin family with a focus on abamectin and ivermectin*. *Chemosphere*, 2016. **154**: p. 204-214.
- /19/ Vokral, I., et al., *Ivermectin environmental impact: Excretion profile in sheep and phytotoxic effect in Sinapis alba*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019. **169**: p. 944-949.
- /20/ Navratilova, M., et al., *The Uptake of Ivermectin and Its Effects in Roots, Leaves and Seeds of Soybean (Glycine max)*. *Molecules*, 2020. **25**(16).
- /21/ Navratilova, M., et al., *Pharmaceuticals in environment: the effect of ivermectin on ribwort plantain (Plantago lanceolata L.)*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020.
- /22/ Navratilova, M., et al., *Pharmaceuticals in environment: the effect of ivermectin on ribwort plantain (Plantago lanceolata L.)*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020. **27**(25): p. 31202-31210.
- /23/ Stuchlikova, L.R., et al., *The uptake, effects and biotransformation of monepantel in meadow plants used as a livestock feed*. *Chemosphere*, 2019. **237**.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu TAČR (SS06020173): „Metody snižující rizika cirkulace veterinárních léčiv v životním prostředí.“

JAKÉ STRESOVÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍ ROSTLINY V AKVAPONICKÝCH SYSTÉMECH A JAKÝ TO MÁ DOPAD NA JEJICH NURTIČNÍ KVALITU

STRESS FACTORS AFFECTING PLANTS IN AQUAPONIC SYSTEMS AND HOW DOES IT AFFECT THEIR NUTRITIONAL QUALITY

Lenka Langhansová¹, Veronika Tůmová², Šárka Petrová¹, Radka Podlipná¹, Martin Liška², Daniel Haisel¹, Pavel Klouček², Miroslav Petrýl²

1Ústav experimentální botaniky AV ČR, Laboratoř rostlinných biotechnologií, Rozvojová 263, 165 02 Praha 6 - Lysolaje,

2Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 – Suchdol
langhansova@ueb.cas.cz

Summary

Aquaponics uses waste from fish farming as nutrients for plants, creating a sustainable ecosystem. The research compared the growth and quality of lettuce grown on various aquaponic solutions with traditional hydroponic solutions. Lettuce grown on aquaponic solutions had lower yields than those grown on hydroponic solutions but showed higher antioxidant capacity, possibly due to nutrient deficiencies. Aquaponics solutions often contain less phosphorus, potassium, iron, and manganese but excess sodium. These nutrient deficiencies can lead to higher uptake of zinc and higher content of beneficial compounds like vitamin C or lutein. With proper nutrient supplementation, aquaponics is a viable and sustainable approach to agriculture, providing high-quality products with minimal environmental impact.

Key words: aquaponics, lettuce, mineral nutrition, nutritional quality, aeroponics. Antioxidanty

Souhrn

Akvaponie využívá odpadní látky z chovu ryb jako živiny pro rostliny, což vytváří udržitelný ekosystém. Výzkum porovnával růst a kvalitu salátů pěstovaných na různých akvaponických roztocích s tradičními hydroponickými roztoky. Saláty pěstované na akvaponických roztocích měly nižší výnos než ty pěstované na hydroponických roztocích, ale vykazovaly vyšší antioxidační kapacitu, což může být důsledkem nedostatku některých živin. Akvaponické roztoky často obsahují méně fosforu, draslíku, železa a manganu, ale více sodíku. Tento nedostatek živin může někdy vést k vyššímu příjmu zinku a vyššímu obsahu prospěšných látek jako vitamin C nebo lutein. Po doplnění potřebných živin je akvaponie životaschopným a udržitelným přístupem k zemědělství, který poskytuje kvalitní produkty s minimálním dopadem na životní prostředí.

Klíčová slova: akvaponie, salát, minerální výživa, nutriční kvalita, aeroponie, antioxidanty

ÚVOD

S rostoucí populací, expanzí civilizace a klimatickými změnami se stává tradiční zemědělství závislé na orné půdě, problematické a nedostačující. Bezpůdní technologie pěstování mají potenciál mnohé problémy úspěšně vyřešit. Jako například nedostatek orné

půdy, nedostatek vody, nedostatek některých živin v půdě, eroze, sucho, choroby a škůdci, aj. /6, 12/. Klasickým bezpůdním systémem je hydroponie nebo aeroponie, kde rostliny za optimálních podmínek přijímají živiny z roztoku připraveného převážně z organických solí. V hydroponii jsou kořeny rostlin obvykle umístěny v inertním médiu (např. perlitu, kokosovém vláknu nebo rockwoolu) ponořeném v cirkulujícím živném roztoku, nebo je živný roztok periodicky dodáván. Aeroponie je pokročilejší metoda, kde jsou kořeny rostlin zavěšeny ve vzduchu a jsou pravidelně postříkovány aerosolizovaným živným roztokem. Tento systém umožňuje kořenům přijímat kyslík přímo z okolního vzduchu, což může podpořit rychlejší růst a zdravější rostliny. Obě metody mají své výhody a nevýhody, ale aeroponie je často považována za efektivnější z hlediska využití vody a živin, zatímco hydroponie je běžnější a snadněji se implementuje /15, 28/.

Kombinace hydroponie s akvakulturou (chov ryb) pak představuje integrovaný zemědělský systém, akvaponii, kde jsou odpadní látky produkované chovem ryb využívány jako živiny pro pěstování rostlin. Ty zároveň tuto vodu čistí čímž se vytváří udržitelný ekosystém minimalizující potřebu chemických hnojiv, snižující spotřebu vody, zvyšující produkci potravin na jednotku plochy a eliminující potřebu použití pesticidů. Zní to ideálně, ale pro efektivní aplikaci této myšlenky do ekonomicky udržitelné praxe, je stále třeba vyřešit mnoho technologických výzev /5, 25, 29/.

Hlavním produktem akvaponie je živočišná bílkovina s tím, že rostlinná produkce je spíše doplňková. Nicméně pro úspěšnost je třeba aby tato rostlinná produkce byla dostatečně kvalitní pro spotřebitele /7/. Naše laboratoř se zabývá nutriční kvalitou rostlin pěstovaných na akvaponickém roztoku. Měli jsme možnost porovnat akvaponické roztoky ze tří různých akvakultur (akvaponická farma Aquaponie s.r.o., Lážovice, z chovu tlamounů, koi kaprů a afrických sumecků; Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Germany (IGB), z chovu tlamounů a piraň rostlinožravých; a z Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích, Fakulty rybářství a ochrany vod, z chovu afrických sumecků). V několika nezávislých experimentech byl sledován vliv akvaponického roztoku (RAS = recirculating aquaculture system) a různých způsobů optimalizace využití RAS vody pro produkci salátů (*Lactuca sativa* L.) a dopad na jejich nutriční hodnoty.

MATERIÁL A METODY

Závěry této studie vycházejí z několika nezávislých experimentů:

1. MARSONAUT: V tomto pokusu /17/ jsme se snažili hydroponii nahradit aeroponií a porovnávali jsme růst a kvalitu salátů na klasickém hydroponickém (H) a akvaponickém roztoku (RAS).

2. IGB: V dalším experimentu /24/ byl porovnán růst a kvalita salátu v hydroponii na klasickém hydroponickém roztoku (H), akvaponickém roztoku (RAS) a akvaponickém roztoku chemicky doplněném o deficitní živiny (RAS-F).

3. INOVA: V tomto experimentu byla snaha pro účely pěstování salátu na akvaponickém roztoku, nahradit chemická hnojiva (RAS-F) mineralizovanými zbytky z akvaponické kultivace (rybí kal a nať z rajčat; RAS-M) a tím dosáhnout účinnější ekologické recyklace živin (předběžné výsledky).

Hodnocené parametry:

Obsah minerálních látek v roztoku a ve vypěstovaných salátech byl měřen pomocí ICP-OES. Obsah fotosyntetických pigmentů a vitaminů pomocí HPLC-PDA, antioxidantní kapacita pomocí metody ORAC a DPPH, obsah antioxidantních polyfenolů pomocí Folin-Ciocalteu metody /13, 17/.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Obecně je pro produkci salátů v hydroponických systémech považován klasický Hoaglandův roztok za dostačující /9, 26, 30/. Salát, jakožto lisová zelenina není oproti plodové zelenině nijak náročný na živiny, takže pokud bychom porovnávali akvaponické roztoky (Tab. 1) s polovičním složením Hoaglandova roztoku podle Jarecki nebo Li /10, 14/, je zřejmý deficit hlavně draslíku (K), železa (Fe) a manganu (Mn). Naopak akvaponický roztok má vyšší obsah sodíku (Na) a mírně vyšší obsah kalcia (Ca). Zdrojem nadměrného obsahu Na je rybí krmivo. Vyšší obsah Ca je způsoben úpravou pH pomocí CaCO_3 , jež se doporučuje nahradit KOH (částečně aplikováno v akvakultuře na JČU), tím zároveň můžeme eliminovat deficit draslíku jak pro rostliny, tak zlepšit welfare pro ryby /27/. I když některé výzkumy ukázaly, že K může být u některých rostlin nahrazen Na, a např. u *Theobroma cacao* to vede ke zlepšení fotosyntézy, účinnosti využití vody a minerální výživy /4/, rostliny obecně preferují K před Na /2/.

Tab 1. Porovnání akvaponických roztoků z různých akvakultur.

mg/L	Lážovice	IGB	JČU	Hoagland*
NO_3^-	37.06	114.05	168	196
NH_4^-	3.48	0.38	1.13	14
P	14.33	2.86	44.4	31
K	29.59	18.85	174	235
Ca	69.66	220.75	189	160
Mg	36.37	21.37	13.5	48
S	63.72	90.07	41.4	64
Na	83.78	63.11	40.8	1
Fe	0.0920	0.0138	0.2800	9
Mn	0.0175	0.0133	0.4850	5
Zn	0.0300	0.0333	1.7400	0.05
Si	2.3605	5.1354	0.0000	-
Cu	0.0623	0.0110	0.0000	0.02
B	0.1652	0.1089	0.0720	0.005
Al	0.1930	0.0183	-	-

*Složení full strenght Hoaglandova roztoku podle (Jarecki et al., 2005)

Hlavní výsledky studie Marsonaut využívající aeroponii dokazují že saláty živené roztokem z RAS systému efektivně přeměňují nízký obsah dusíku na uspokojivý výnos salátu, i když nižší v porovnání s výnosem salátů živených hydroponickým roztokem s optimálním složením. Saláty živené RAS roztokem vykazovaly přibližně 2.6krát vyšší antioxidantní kapacitu, což může být reakce na oxidační stress způsobený nedostatečným přísunem živin /22/. Saláty na RAS roztoku také vykazovaly vyšší příjem síry a křemíku, které také mohou zvyšovat odolnost rostlin vůči stresu /1, 16/. V rostlinách byl významně vyšší i obsah Na. Rostliny v aeroponickém systému nedokázaly efektivně přijímat minerály, které byly v RAS roztoku deficitní (K, P, Zn, Fe, a Mn), jejich obsah byl tedy v rostlinách výrazně nižší. Při nízkých hladinách může Na působit příznivě, zejména při nedostatku draslíku /18/. Avšak vysoké koncentrace Na mohou vést ke stresu zasolení, přičemž K hraje při zmírnění toxicity Na klíčovou roli tím, že snižuje akumulaci Na v rostlinných pletivech /3/. Různé druhy rostlin vykazují rozdílnou citlivost na toxicitu Na a konkrétně u salátu došlo při stresu zasolením k výraznému snížení růstu a nestabilitě membrán /8/, což potvrzují i naše výsledky. Ohledně vitamínu C, byl u salátů na RAS i na hydroponickém roztoku jejich obsah srovnatelný. Mírně

vyšší byl u salátů živených RAS roztokem i obsah fotosyntetických pigmentů, zejména zdraví prospěšného luteinu a β -carotenu /17/.

Studie na IGB ukázala, že nepřihnojovaný akvaponický salát měl ve srovnání s RAS-F a H o 30% nižší růst, což potvrzuje závěry studie Marsonaut. I zde salát na RAS roztoku vykazoval vyšší obsah Na, který na RAS-F překvapivě zvýšený nebyl. Obsah K v salátech na RAS bez přihnojení byl také nižší, ale obsah P byl snížen jen nepatrně, přestože ho RAS roztok z IGB obsahoval nejméně oproti RAS roztokům z Lážovic a JČU. Pozorován byl také vysoký příjem Zn jen na RAS roztoku a nízký příjem Fe. Salát na obou RAS roztocích se také pozitivně lišil ukazateli nutriční kvality jako je vyšší obsah luteinu a zeaxantinu. Nedostatek některých živin v RAS roztoku se i zde projevil ve vyšší antioxidační kapacitě salátu. Nicméně obsah vitamínů, jak C tak vitamínů skupiny B byl srovnatelný.

Studie INOVA potvrdila ohledně příjmů makro a mikronutrientů závěry studie IGB s tím, že byl pozorován výrazně nižší příjem i Mn. I zde byl pozorován v salátech na obou RAS roztocích mírně vyšší obsah luteinu. Oproti předchozím studiím byl u salátů živených RAS roztoky (RAS-F i RAS-M) pozorován až 4.4krát vyšší obsah vit. C a výnos na RAS-M byl statisticky nevýznamně nižší, což ukazuje na to, že mineralizované zbytky mohou deficitní nutrienty dostatečně nahradit. Přesto mírný stres u rostlin na RAS-M prokazují mírně vyšší hodnoty antioxidační kapacity změřené ORAC metodou.

Jednotné u všech studií je, že saláty na samotné RAS bez přidaných chemických hnojiv, tedy i na RAS s mineralizovanými zbytky vykazovaly 1.3–2.5krát vyšší příjem zinku, a to přes to, že na RAS-F musely být hodnoty Zn stejné jako na samotném RAS roztoku. Příjem Zn může být ovlivněn jak dostupností P, tak Fe nebo Ca /19, 20, 21/. Z hlediska nutriční kvality, RAS roztok zlepšuje kvalitu salátů nejen vyšším obsahem Zn a luteinu, které jsou velmi prospěšné pro zdraví očí a mozku /11, 23/, ale i vyšším obsahem vitamínu C.

ZÁVĚR

Všechny studie naznačují, že RAS roztok po vhodném doplnění pro rostliny deficitních živin, je životaschopným přístupem k udržitelnému zemědělství, který poskytuje vysoce kvalitní produkty s minimálním dopadem na životní prostředí.

LITERATURA

- /1/ Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51, 163-190, <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>.
- /2/ Benito, B., Haro, R., Amtmann, A., Cuin, T.A., Dreyer, I., 2014. The twins K⁺ and Na⁺ in plants. *Journal of Plant Physiology* 171, 723-731, <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.014>.
- /3/ Fernandes Rodrigues, C.R., Gomes Silveira, J.A., Silva, E.N., Batista Dutra, A.T., Viegas, R.A., 2012. POTASSIUM TRANSPORT AND PARTITIONING ALLEVIATES TOXIC EFFECTS OF SODIUM ON YOUNG PHYSIC NUT PLANTS. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo* 36, 223-232, <https://doi.org/10.1590/s0100-06832012000100023>.
- /4/ Gattward, J.N., Almeida, A.-A.F., Souza, J.O., Jr., Gomes, F.P., Kronzucker, H.J., 2012. Sodium-potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. *Physiologia Plantarum* 146, 350-362, <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01621.x>.
- /5/ Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R., 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability* 7, 4199-4224, <https://doi.org/10.3390/su7044199>.
- /6/ Gonnella, M., Renna, M., 2021. The Evolution of Soilless Systems towards Ecological Sustainability in the Perspective of a Circular Economy. Is It Really the Opposite of Organic Agriculture? *Agronomy-Basel* 11, 950, <https://doi.org/10.3390/agronomy11050950>.
- /7/ Greenfeld, A., Becker, N., McIlwain, J., Fotedar, R., Bornman, J.F., 2019. Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. *Reviews in Aquaculture* 11, 848-862, <https://doi.org/10.1111/raq.12269>.

- /8/ Hnilickova, H., Hnilicka, F., Orsak, M., Hejnak, V., 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. *Plant Soil and Environment* 65, 90-96, <https://doi.org/10.17221/620/2018-pse>.
- /9/ Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H.R., Shirani, H., van de Vlasakker, P.C.H., Farhangi, M., 2021. Nutrient Use in Vertical Farming: Optimal Electrical Conductivity of Nutrient Solution for Growth of Lettuce and Basil in Hydroponic Cultivation. *Horticulturae* 7, 283, <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090283>.
- /10/ Jarecki, M.K., Chong, C., Voroney, R.P., 2005. Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition* 28, 651-667, <https://doi.org/10.1081/pln-200052639>.
- /11/ Johnson, E.J., 2014. Role of lutein and zeaxanthin in visual and cognitive function throughout the lifespan. *Nutrition Reviews* 72, 605-612, <https://doi.org/10.1111/nure.12133>.
- /12/ Lakhari, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., Buttar, N.A., 2018. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions* 13, 338-352, <https://doi.org/10.1080/10108017429145.2018.1472308>.
- /13/ Langhansova, L., Pumprova, K., Haisel, D., Ekrt, L., Pavicic, A., Zajickova, M., Vanek, T., Dvorakova, M., 2021. European ferns as rich sources of antioxidants in the human diet. *Food chemistry* 356, 129637-129637, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129637>.
- /14/ Li, J., Wang, L., Javed, H.U., Zahid, M.S., Wu, Z., Ma, C., Jiu, S., Xu, W., Zhang, C., Wang, S., 2023. Nutrient solution with high nitrogen content, a suitable facilitator of growth and berry quality in hydroponic 'Shine Muscat' grapevine (*Vitis vinifera* x *V. labrusca*). *Scientia Horticulturae* 310, 111749, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111749>.
- /15/ Li, Q., Li, X., Tang, B., Gu, M., 2018. Growth Responses and Root Characteristics of Lettuce Grown in Aeroponics, Hydroponics, and Substrate Culture. *Horticulturae* 4, 35, <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040035>.
- /16/ Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W.H., Ding, R.X., 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 160, 1157-1164, <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01065>.
- /17/ Liška, M., Tůmová, V., Langhansová, L., Mercl, F., Tejnecký, V., Petrová, Š., Mořková, K., Bureš, D., Petrtyl, M., Klouček, P.: Enhancing Antioxidant Properties of Lettuce through Nutritional Deficiency in Aquaponic Systems with Aeroponic Cultivation. *Preprints* 2023, 2023071912. <https://doi.org/10.20944/preprints202307.1912.v1>
- /18/ Maathuis, F.J.M., 2014. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany* 65, 849-858, <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>.
- /19/ Moreno-Lora, A., Delgado, A., 2020. Factors determining Zn availability and uptake by plants in soils developed under Mediterranean climate. *Geoderma* 376, 114509, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114509>.
- /20/ Recena, R., Garcia-Lopez, A.M., Delgado, A., 2021. Zinc Uptake by Plants as Affected by Fertilization with Zn Sulfate, Phosphorus Availability, and Soil Properties. *Agronomy-Basel* 11, 390, <https://doi.org/10.3390/agronomy11020390>.
- /21/ Rengel, Z., Graham, R.D., 1996. Uptake of zinc from chelate-buffered nutrient solutions by wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Journal of Experimental Botany* 47, 217-226, <https://doi.org/10.1093/jxb/47.2.217>.
- /22/ Stefanelli, D., Winkler, S., Jones, R.: Reduced Nitrogen Availability during Growth Improves Quality in Red Oak Lettuce Leaves by Minimizing Nitrate Content and Increasing Antioxidant Capacity and Leaf Mineral Content. *Agricultural Sciences* 2011, 02, 477-486.
- /23/ Tan, L., Zhang, Y., Dawson, R., Kong, L., 2023. Roles of macular carotenoids in brain function throughout the lifespan: A review of recent research. *Journal of Agriculture and Food Research* 14, 100785, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100785>.
- /24/ Tůmová, V., Langhansová, L., Petrtyl, M., Benmansour, I., Bureš, D., Petrová, Š., Haisel, D., Tejnecký, V., Pěchoučková, E., Laloučková, K., Malíková, L., Liška, M., Klouček, P., Monsees, H.: The impact of fertilizer savings on quality of lettuce (*Lactuca sativa*) in aquaponics. In preparation.
- /25/ Tyson, R.V., Treadwell, D.D., Simonne, E.H., 2011. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. *Horttechnology* 21, 6-13, <https://doi.org/10.21273/horttech.21.1.6>.
- /26/ Veazie, P., Pandey, P., Young, S., Ballance, M.S., Hicks, K., Whipker, B., 2022. Impact of Macronutrient Fertility on Mineral Uptake and Growth of *Lactuca sativa* 'Salanova Green' in a Hydroponic System. *Horticulturae* 8, 1075, <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111075>.
- /27/ Wenzel, L.C., Strauch, S.M., Eding, E., Presas-Basalo, F.X., Wasenitz, B., Palm, H.W., 2021. Effects of Dissolved Potassium on Growth Performance, Body Composition, and Welfare of Juvenile African Catfish (*Clarias gariepinus*). *Fishes* 6, 11, <https://doi.org/10.3390/fishes6020011>.

- /28/ Wimmerova, L., Keken, Z., Solcova, O., Bartos, L., Spacilova, M., 2022. A Comparative LCA of Aeroponic, Hydroponic, and Soil Cultivations of Bioactive Substance Producing Plants. *Sustainability* 14, 2421, <https://doi.org/10.3390/su14042421>.
- /29/ Yanes, A.R., Martinez, P., Ahmad, R., 2020. Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems. *Journal of Cleaner Production* 263, 121571, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121571>.
- /30/ Zandvakili, O.R., Barker, A.V., Hashemi, M., Etemadi, F., Autio, W.R., 2019. Comparisons of commercial organic and chemical fertilizer solutions on growth and composition of lettuce. *Journal of Plant Nutrition* 42, 990-1000, <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1589505>.

Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem č. QK21010207 Ministerstva zemědělství ČR.

THE EFFECT OF SALINITY ON PLANTS

VPLYV ZASOLENIA NA RASTLINY

Marko Bajus¹, Petra Štesová², Karin Kollárová¹, Zuzana Vivodová¹

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

²Gymnasium Ladislava Novomeského, Tomášikova 2, 827 29 Bratislava, Slovak Republic
marko.bajus@savba.sk

Summary

This study aimed to investigate the effect of different salt concentrations (KCl in the concentrations of 50, 100, 150, 200 mM) on maize vitality. Maize seeds were cultivated in a Hoagland's nutrient hydroponic solution with the addition of KCl. After 7 days, the effects of KCl on the length of the above-ground part and roots were determined. We found that the shoots and roots were more damaged with increased concentrations of salts, and plants tended to necrosis and dying of whole plants in the higher concentrations of KCl (150 and 200 mM). In addition, with increased concentration of KCl the increased conductivity of Hoagland's nutrient hydroponic solution was determined due to the outflow of electrolytes from the plant tissues.

Key words: above ground parts; hydroponic; maize; roots, salinity

Súhrn

Cieľom práce bolo zistiť vplyv rôznych koncentrácií soli (KCl v koncentráciách 50, 100, 150, 200 mM) na vitalitu kukurice. Semená kukurice boli pestované v Hoaglandovom živnom hydroponickom roztoku s prídáním KCl. Po 7 dňoch stanovený vplyv KCl na dĺžku nadzemnej časti a koreňov. Zistili sme, že dochádzalo k väčšiemu poškodeniu nadzemných častí a koreňov so zvyšujúcou sa koncentráciou soli (KCl) až k následnému odumieraniu celých rastlín v najvyšších koncentráciách KCl (150 a 200 mM). Okrem toho sa so zvyšujúcou sa koncentráciou KCl zvyšovala vodivosť Hoaglandovho živného hydroponického roztoku v dôsledku uvoľňovania elektrolytov z rastlinných pletív.

Kľúčové slová: hydropónia; koreň, kukurica; nadzemná časť; zasolenie

INTRODUCTION

Soil salinity is the process by which soluble salts, primarily sodium chloride and potassium chloride, accumulate in the soil. It is one of the main environmental challenges facing agriculture worldwide. This phenomenon affects plant growth, development, and productivity, impacting food security and the economy. This process can be natural, such as in arid regions where evaporation exceeds precipitation, or anthropogenic, caused by improper irrigation practices and land use /1/. Salinity has several negative effects on plants such as creation of osmotic stress when high salt concentrations in the soil make it difficult for plants to absorb water, leading to dehydration and reduced growth. Salt presented in a medium can also interfere with the uptake of essential nutrients such as potassium and calcium, leading to further problems

in plant growth and development. Some plants have developed mechanisms that allow them to tolerate or adapt to saline conditions /2/.

As one of the main protective processes, plants can accumulate organic osmolytes, such as proline and glycine betaine, which help maintain osmotic balance. Plants can regulate the uptake of salts to minimize their toxic effects. Soil salinity is a serious problem that affects plants and agricultural production. However, through understanding the mechanisms of plant tolerance and adaptation, as well as implementing proper management practices, it is possible to mitigate the negative effects of salinity /3/. Continued research in this area is essential for ensuring food security and sustainable agriculture for the future. Using efficient irrigation systems that minimize salt accumulation in the soil is one of the main solutions. These practices can help reduce salt concentrations and improve soil structure /4/.

MATERIALS AND METHODS

Maize seeds (*Zea mays* L.) were surface sterilized in 4.7% sodium hypochlorite solution (Savo) (20 min), washed with distilled water, and then imbibed in the dark at room temperature for 3 hours. After imbibition, the seeds germinated in the dark at 25 °C. We transferred pre-germinated uniform plants to containers with Hoagland's nutrient solution /5/. We added KCl in the concentration of 50, 100, 150, and 200 mM. We compared four treatments: control (Hoagland's nutrient solution), treatment 50 (Hoagland's nutrient solution + 50 mM KCl), treatment 100 (Hoagland's nutrient solution + 100 mM KCl) treatment 150 (Hoagland's nutrient solution + 150mM KCl), treatment200 (200 mM KCl). The nutrient solutions were allowed to aerate during the entire cultivation. After 7 days of cultivation under constant conditions (temperature 25/20 °C, photoperiod 16 h light/8 h dark, light intensity 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and 60% air humidity), we measured the length of shoots and roots. During the experiment, the conductivity of the culture medium was measured at the beginning of the experiment (day 0), at the middle of the experiment (day 3), and at the end of the experiment (day 7). We statistically evaluated the differences between individual experimental groups by Tukey's one-factor analysis of variance test using the statistical program Statistica.

RESULTS AND DISCUSSION

The data presented in Figure 1 demonstrates a negative correlation between root length and increased KCl concentrations. The KCl in the concentration of 50 mM decreased the root length by 33%, KCl in the concentration of 100 mM decreased the root length by 50%, KCl in the concentration of 150 mM decreased the root length by 69%, and KCl in the concentration of 200 mM decreased the root length by 76% reduction compared to the control. The authors Zhang et al /6/ found, that increased concentration of chloride anions (added as CaCl_2 in the concentrations of 63.2 $\text{mg Cl}^- \text{kg}^{-1}$ soil and of 757.1 $\text{Cl}^- \text{kg}^{-1}$ soil) is not harmful to plants like NaCl. It was harmful only in salinity sensitive maize genotypes which can negatively affect the plants.

The data presented in Figure 2 demonstrates that the length of the shoots rapidly decreased with increased KCl concentrations. The KCl in the concentration of 50 mM decreased the shoot length by 74% and KCl in the concentration of 100 mM decreased the shoot length by 92%, The shoots were unvivid in the treatments with higher concentrations of KCl (150 mM and 200 mM).

The data presented in Table 1 demonstrates that there were alterations in conductivity of Hoagland's nutrient solution throughout the cultivation period. In the control conditions, a conductivity decline was observed, likely attributable to the plants' consumption of nutrients from the medium. As the concentration of KCl increased, there was a corresponding rise in conductivity. At the higher concentrations of KCl (150 and 200 mM), the roots exhibited signs of deterioration, which may have resulted in an increase in conductivity due to the outflow of

electrolytes from the plant tissues. Chrysargyris et al. /7/ demonstrated that the enhanced conductivity of the culture medium was attributable to salinity, achieved through the addition of NaCl to the medium. Their findings showed that increased levels of salinity and conductivity were associated with reduced plant growth.

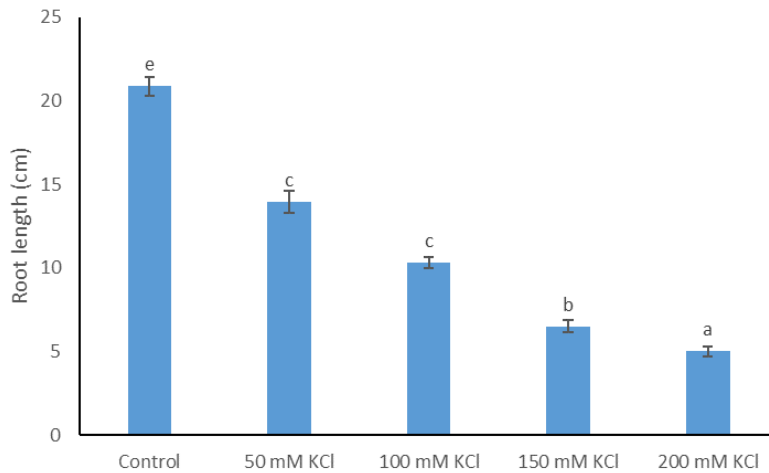


Figure 1: The root length of maize plants after exposure to different concentrations of KCl. Different letters indicate statistical differences between individual treatments at $P < 0.05$.

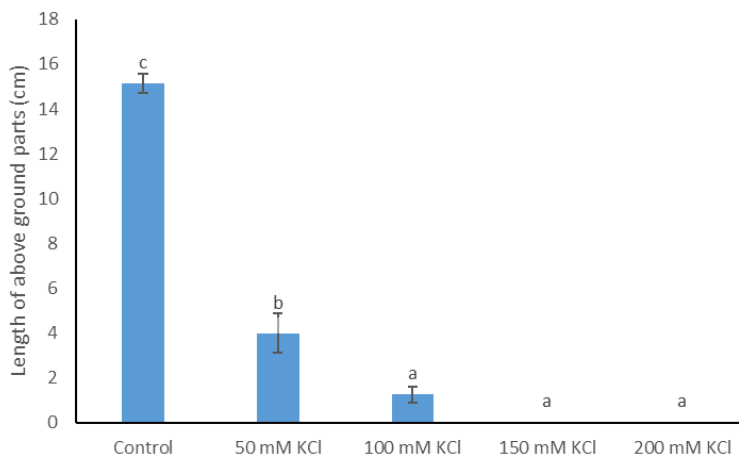


Figure 2: The shoot length of maize plants after exposure to different concentrations of KCl. Different letters indicate statistical differences between individual treatments at $P < 0.05$.

Table 1: The conductivity [μS] of Hoagland's nutrient solution in control conditions and with the addition of KCl in selected concentrations during the cultivation

Conductivity [μS]					
Time/ Treatment	Control	50 mM KCl	100 mM KCl	150 mM KCl	200 mM KCl
0 day	1544.1	8832.85	15110.45	19896.55	22205
3rd day	1422.3	8355.45	14082.5	18894.5	21501.65
7th day	1409.25	8383.15	14354.55	20127	23440.25

CONCLUSIONS

The results show that with increased concentration of KCl, the damage to the shoots and roots of the plants increased, and retardation of growth was determined. Therefore, based on our preliminary results, it is important to focus on reducing the stress induced by excessive salinity, as high agricultural and production losses occur.

REFERENCES

- /1/ Fatima, A., Hussain, S., Hussain, S., et. al. Differential morphophysiological, biochemical, and molecular responses of maize hybrids to salinity and alkalinity stresses. *Agronomy*, 11(6), 2021: 1150.
- /2/ Zhao, C., Zhang, H., Song, C., et al. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The innovation*, 2020: 1(1).
- /3/ Alamer, K. H., Perveen, S., Khaliq, A., et. al Mitigation of salinity stress in maize seedlings by the application of vermicompost and sorghum water extracts. *Plants*, 11(19), 2022: 2548.
- /4/ Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmacili, N., et al. Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, 12(12), 2023: 2253.
- /5/ Hoagland, D. R., Arnon, D. I.: The water-culture method for growing plants without soil. *Circular*, 2, 1950: 347.
- /6/ Zhang, X., Zörb, C., Kränzlein, M., et al. The early stress response of maize (*Zea mays* L.) to chloride salinity. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205.6, 2019: 586-597.
- /7/ Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., Prvulovic, D. et al. Performance of hydroponically cultivated geranium and common verbena under salinity and high electrical conductivity levels. *Agronomy*, 11(6), 2021: 1237.

Acknowledgements

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

THE ACTIVITY OF PEROXIDASE AND HYDROGEN PEROXIDE LEVEL IN MAIZE AND COURGETTE AFTER PESTICIDE APPLICATION

AKTIVITA PEROXIDÁZY A KONCENTRÁCIA PEROXIDU VODÍKA V KUKURICI A CUKETE PO APLIKÁCIÍ PESTICÍDU

Martin Ševcov^{1,2}, Marko Bajus¹, Kristína Šípošová-Holeková¹, Diana Hačkuličová¹, Karin Kollárová¹, Eva Labancová¹

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

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

Summary

Pesticides were designed to control the pest' attacks and to ensure stable plant production. However, with increasing global population and decreasing sensitivity of pests against pesticides, new methods of plant protection are being proposed. Although these methods might seem costly or non-conventional, their usage decreases the negative effects of pest control on the environment, animals, humans, and even the plants. Here, we examined the antioxidant reaction (peroxidase activity) of maize and courgette plants to the application of systemic pesticide Gondola. We found that the antioxidant response differs between the species and changes in time. Furthermore, older tissues especially in courgette, respond to a double dose of Gondola more sensitively than younger tissues and both types of tissues in maize.

Key words: antioxidants, courgette, maize, peroxidase, pesticide

Souhrn

Pesticídy boli vymyslené pre ich úlohu pri kontrole napadnutia rozličných škodcov a aby zabezpečili stabilnú rastlinnú produkciu. Nárast globálnej populácie a zníženie senzitivity škodcov na pesticídy spôsobilo, že sa začali vymýšľať nové metódy ochrany rastlín. Napriek tomu, že tieto metódy môžu pôsobiť drahšie alebo nekonvenčne, ich používanie znižuje nepriaznivé efekty kontroly škodcov na prostredie, zvieratá, ľudí a aj na rastliny. V tomto príspevku sme sa venovali antioxidačnej reakcii (aktivite peroxidázy) v rastlinách kukurice a v cukety po aplikácii systémového pesticídu Gondola. Zistili sme, že antioxidačná reakcia je rozdielna medzi rastlinnými druhmi a mení sa v čase. Okrem toho sme zistili, že staršie pletivá, najmä v prípade cukety, reagujú na dvojitú dávku Gondoly citlivejšie ako mladšie pletivá a oba typy pletív v kukurici.

Kľúčové slová: antioxidanty, cuketa, kukurica, peroxidáza, pesticíd

INTRODUCTION

With the increasing global population, dangers of the climate change, and reports of xenobiotics in the environment, new methods of plant protection against pests are being researched. The importance of finding environmentally-friendly plant protection methods is

connected to the negative influence of chemical pesticides on plants, important pollinators e.g., bees; and human bodies during their application /1; 2/. People can be exposed to higher concentrations of pesticides also through the ingestion of treated crops, fruits, or seeds. After the consumption of such foods, several harmful effects in human bodies, such as modulation of gut microbiota, and pulmonary or other diseases might occur /1; 3/. A big group of pesticides is classified as organic compounds that can persist in the environment and in time, turn into pollutants. While there are reports about the impacts of various pesticides on insects and animals are available, little information about their impact on the physiology of plants is mentioned in scientific papers. The recommended doses of pesticides are usually not able to damage or slow down the growth and development of the plant; however, their application can change the internal levels of various active compounds and modify the product quality /4/.

One of the most common responses of plants to biotic and abiotic stresses is a change of oxidative status, which can cause continual damage to molecules and cell structures. The antioxidant response, which consists of various mechanisms involving the enzymes responsible for degrading reactive oxygen species (ROS), is an important line of defence against stress /5/. Hence, here we studied the antioxidant response of plants after the application of systemic pesticide containing sulfoxaflor. Plants differ in their ability to tolerate organic pollutants /6/; hence, we hypothesise that the antioxidant response of maize and courgette to pesticides will vary.

MATERIAL AND METHODS

Maize (*Zea mays* L.) hybrid Luciana (RWA, Slovakia) and courgette (*Cucurbita pepo* L.) (Moravoseed, variety 'Nefertiti') were used in the experiments. Maize grains and courgette seeds were decontaminated in sodium hypochlorite (4.7%), rinsed in tap water and distilled water (dH₂O), and imbibed in dark for 3 hours (maize) and 20 min (courgette). The grains and seeds were planted in soil (garden substrate) saturated with water (70% of water holding capacity) and germinated in plastic containers for 3 days. The plants grew for 16 days in controlled conditions in a cultivation room (24 ± 1 °C, 60% humidity, 16 / 8 hours photoperiod).

On the 14th day of the cultivation, the insecticide Gondola, containing sulfoxaflor, was applied on leaves using foliar spraying. The treatments were as follows: control maize (CM) and control courgette (CC) – leaves sprayed with distilled water, gondola maize (GM) and gondola courgette (GC) – leaves sprayed with distilled water containing a recommended dose of gondola (0.24 µg ml⁻¹ of sulfoxaflor), gondola 2x maize (GxM) and gondola 2x courgette (GxC) – leaves sprayed with distilled water containing a double-dose of gondola (0.48 µg ml⁻¹ of sulfoxaflor). Plants were sampled in three time points, 4 hours, 24 hours and 48 hours after spraying. The material used for analyses: the first two true leaves (the first and second leaf for maize and the first pair of leaves for courgette) and the third leaf of both maize and courgette, was frozen in liquid nitrogen. The estimation of peroxidase activity (GPOX – guaiacol peroxidase) was done spectrophotometrically from protein extract, according to the protocol by Frič and Fuchs (1970) /7/ following the determination of soluble protein concentration /8/. The concentration of hydrogen peroxide in leaves was estimated spectrophotometrically according to the protocol modified in our laboratory /9/. The statistical analyses used were (ANOVA) and Tukey test at P < 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

We determined the differences in the activity of GPOX among the treatments, between the plant species, and among different sampling times (Fig. 1, Fig. 2). In general, a higher activity of GPOX in the 1st and 2nd true leaf was detected in courgette (in the case of courgette 1st pair of true leaves) than in maize (Fig. 1), while the statistical difference was detected 4 hours and 24 hours after the pesticide application. In maize, the application of pesticide

significantly decreased the activity of GPOX after 48 hours compared to the control. Contrarily, in courgette, the application of pesticide in double-dose, decreased the activity (compared to the control) immediately after the application.

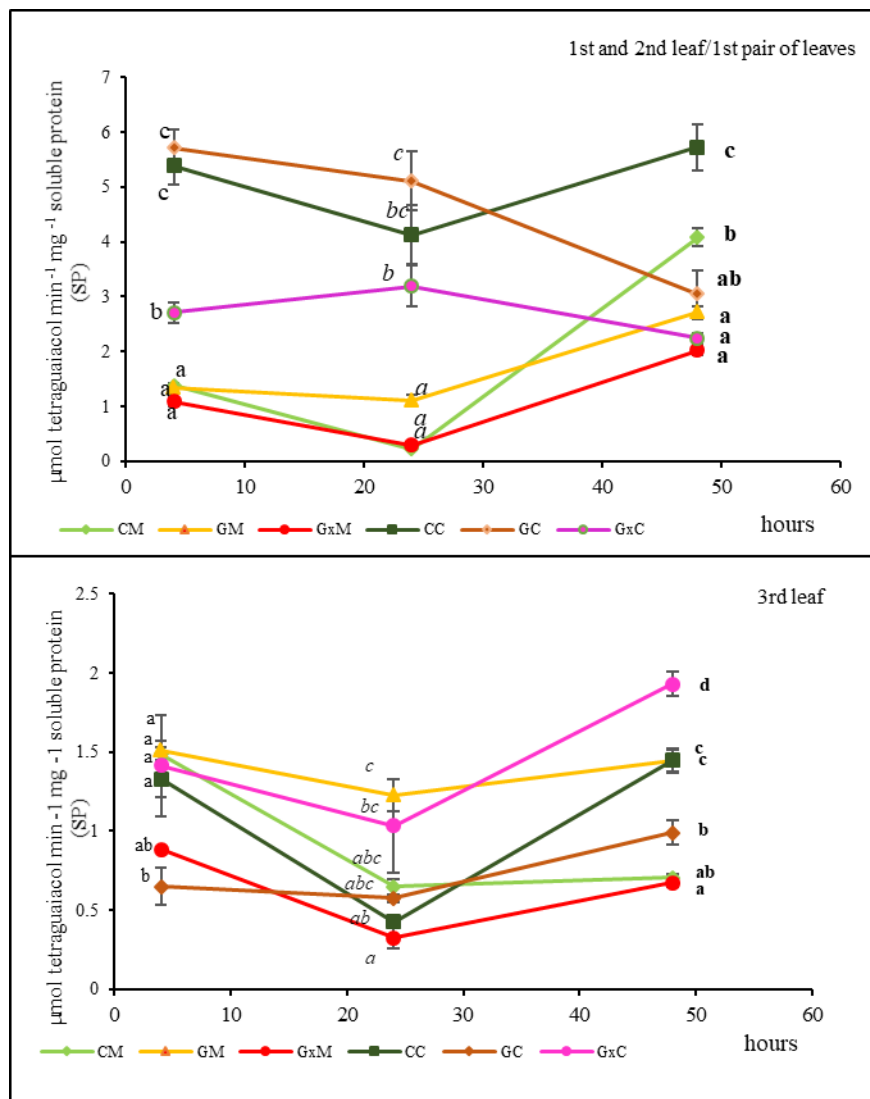


Fig. 1: The activity of GPOX in time (4, 24, and 48 hours after pesticide Gondola application) in the 1st and the 2nd leaf of maize, and 1st pair of leaves in courgette; and the 3rd leaf of maize and courgette. CM – control maize, GM – maize sprayed with recommended dose, GxM – maize sprayed with double dose; CC – control courgette, GM – courgette sprayed with recommended dose, CxM – courgette sprayed with double dose. The values represent means \pm standard error. Different letters denote statistically significant differences between the treatments at one sampling time at $P \leq 0.05$.

Different effect was detected in the 3rd fully developed leaf. Although, the highest activity was detected in courgette, the differences were not as visible as in the 1st and 2nd leaves. Interesting result showed that the application of double dose of Gondola on courgette causes an opposite trend in the activity of peroxidase in time than in the control. Similarly, the application of imidacloprid, another systemic pesticide, changed the activities of antioxidant enzymes in *Solanum lycopersicum* seedlings in relation to its dose /10/. After the application

of double-dose pesticide, the concentration of hydrogen peroxide was higher in the first and second leaves of maize than of courgette (Tab. 1).

Tab. 1: The concentration of H₂O₂ 4 hours after pesticide Gondola application in the 1st/2nd and 3rd leaves of maize and courgette. CM – control maize, GM – maize sprayed with recommended dose, GxM – maize sprayed with double dose; CC – control courgette, GM – courgette spřede with recommended dose, CxM – courgette sprayed with double dose. The values represent means ± standard error. Different letters denote statistically significant differences between the treatments at P ≤ 0.05.

	1/2 L (μmol g ⁻¹)			3rd L (μmol g ⁻¹)				
CM	1.04	±	0.02	b	1.18	±	0.09	bd
GM	0.86	±	0.03	c	0.67	±	0.04	a
GxM	1.15	±	0.04	b	1.11	±	0.05	bc
CC	0.63	±	0.04	ab	0.87	±	0.05	ac
GC	0.72	±	0.04	bc	1.02	±	0.07	bc
GxC	0.50	±	0.02	a	1.38	±	0.06	d

CONCLUSION

Here, we found that even though the pesticide Gondola is very useful for the pest control and in low doses does not pose a risk for plant production based on the literature, its higher doses changed the peroxidase activity. Peroxidases are enzymes responsible for the control of oxidative stress, but also modulate plant growth and development. Furthermore, courgette was more sensitive to the application of Gondola than maize, especially, in the older leaves. This was also evident on the concentration of H₂O₂ which was lower in courgette than in maize..

REFERENCES

- /1/ Scorza, F. A. et al.: Pesticide exposure and human health: toxic legacy. *Clinics*, 78, 2023: 100249.
- /2/ Azpiazu, C. et al.: Pesticide residues in nectar and pollen of melon crops: Risk to pollinators and effects of a specific pesticide mixture on *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) micro-colonies. *Environmental Pollution*, 326, 2023:121451.
- /3/ Giambò, F. et al.: Toxicology and microbiota: How do pesticides influence gut microbiota? a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 2021: 5510.
- /4/ Liu, Y. et al.: Pesticide residues risk assessment and quality evaluation of four characteristic fruits in Zhejiang Province, China. *Frontiers in Environmental Science*, 2023: 11.
- /5/ Dumanović, J. et al.: The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants: A Concise Overview. *Frontiers in Plant Science*, 2021:11.
- /6/ Kummerová, M. et al.: Root response in *Pisum sativum* and *Zea mays* under fluoranthene stress: morphological and anatomical traits. *Chemosphere*, 90(2), 2013:665–673.
- /7/ Frič F., Fuchs, W.H.: Veränderungen der Aktivität einiger enzyme im Weizenblatt in Abhängigkeit von *Puccinia graministritici*. *Phytopathology*, 67, 1970:161–174.
- /8/ 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: 248-54
- /9/ Šípošová, K. et al.: Effects of exogenous application of indole-3-butyric acid on maize plants cultivated in the presence or absence of cadmium. *Plants*, 10(11), 2021: 2503
- /10/ Shakir, S.K. et al.: Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Ecotoxicology*, 27, 2018: 919–935

Aknowledgements

This work was funded by the COST action grant CA21134 - Towards zer0 Pesticide AGRiculture European Network for sustainability (T0P-AGRI-Network).

THE EFFECT OF SYSTEMIC PESTICIDE CONTAINING SULFOXAFLOL ON THE ACTIVITY OF CATALASE IN MAIZE

VPLYV SYSTÉMOVÉHO PESTICÍDU OBSAHUJÚCEHO SULFOXAFLOL NA AKTIVITU KATALÁZY V KUKURICI

Martin Ševcov^{1,2}, Kristína Šípošová-Holeková², Marko Bajus², Diana Hačkuličová², Karin Kollárová², Eva Labancová²

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

²Institute of Chemistry of Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 845 38 Bratislava, Slovakia

Summary

Although, the use of insecticides can help plants in defense against pests, the regulation of insecticide use is important, whereas unregulated use can lead to various damages to plants. Furthermore, after the consumption it can cause health issues in humans. In this contribution we monitored how plants react to different amounts of insecticide Gondola containing sulfoxaflor. We monitored catalase activity in maize (*Zea mays* L.) in three-time points, 4 hours, 24 hours, and 48 hours after spraying. The plants were cultivated in cultivation room controlled conditions (temperature, humidity, and light period). The application of Gondola in double dose caused a significant increase in the activity of catalase in the 3rd leaf of maize, compared to other treatments.

Key words: catalase, maize, oxidative stress, sulfoxaflor, xenobiotics

Súhrn

Používanie insekticídov pomáha rastlinám brániť sa voči rôznym škodcom. Pri používaní týchto látok netreba zabúdať na správnu reguláciu ich množstva, keďže nadmerné používanie môže viesť po konzumácii k zdravotným problémom. V tomto príspevku sme sledovali reakciu rastlín na rôzne množstvá insekticídu Gondola, obsahujúceho sulfoxaflor. Sledovali sme aktivitu enzýmu kataláza v kukurici (*Zea mays* L.) v troch časoch po aplikácii, po 4 hodinách, 24 hodinách a po 48 hodinách. Rastliny boli kultivované v kultivačnej miestnosti s kontrolovanými podmienkami (teplota, vlhkosť, svetelná perióda). Aplikácia insekticídu Gondola v dvojitej dávke spôsobila výrazný nárast aktivity katalázy v treťom liste kukurice v porovnaní s ostatnými ošetreniami.

Kľúčové slová: kataláza, kukurica, oxidačný stress, sulfoxaflor, xenobiotiká

INTRODUCTION

Agriculture in today's world has crucial role in food production, world economy and trades, and production of different plant-based products. Agriculture faces different challenges such weather and climate changes or animal pests (herbivores, parasites, insects etc.). In this contribution we focused on the effect of pesticide Gondola, containing sulfoxaflor, on maize plants. Sulfoxaflor is a systemic insecticide which means that it is absorbed by plant, transported through xylem and phloem, and consequently transported into pest- insect. Sulfoxaflor affects

central nervous system of insect. The insecticide is a toxic compound and exposure (ingestion, inhalation, skin contact...) can lead to symptoms such as dizziness, headaches, and nausea. It can also cause issues in terms of environmental impact such as the reduction of bee population /1/. A little information about their impact on the physiology of plants is mentioned in scientific papers.

We applied sulfoxaflor insecticide on maize (*Zea mays* L.) which is an important grain in agriculture all over the world. After the application of sulfoxaflor we observed the activity of catalase in various time slots (4 hours, 24 hours, and 48 hours after application). Catalase is an enzyme that plays role in cellular detoxification and response to environmental stress. Main function of catalase is the decomposition of hydrogen peroxide (H_2O_2) /2/. The concentration of H_2O_2 increases in plants suffering from various stress factors; thus, the increased activity of catalase is one of the indicators of the oxidative stress in plants.

MATERIALS AND METHODS

Maize grains (*Zea mays* L.) hybrid Luciana were used in the experiments. First, maize grains were surface decontaminated in sodium hypochlorite (4.7%), thoroughly rinsed in tap water and distilled water (dH_2O) and left to imbibe in the dark for 3 hours. Afterwards, the grains were planted in soil (garden substrate) saturated with water (70% of water holding capacity). The grains germinated in plastic containers for 3 days and afterwards grew for 16 days in controlled conditions in a cultivation room (24 ± 1 °C, 60% humidity, 16 / 8 hours' photoperiod), the plants were watered with tap water.

On the 14th day of the cultivation, insecticide Gondola, containing sulfoxaflor, was applied on leaves using foliar spraying. The treatments were as follows: control – leaves sprayed with distilled water, gondola 1x (G1x) – leaves sprayed with distilled water containing a recommended dose of gondola ($0.24 \mu\text{g ml}^{-1}$ of sulfoxaflor), gondola 2x (G2x)– leaves sprayed with distilled water containing double-dose of gondola ($0.48 \mu\text{g ml}^{-1}$ of sulfoxaflor). Plants were sampled in three-time points, 4 hours, 24 hours, and 48 hours after spraying. The material used for analyses: the first two true leaves (the first and second leaf) and the third leaf, was frozen in liquid nitrogen. Catalase activity was determined using spectrophotometric methods according to protocol of Hodges (1997) /3/ and soluble protein concentration /4/. The results were analysed statistically with the use of program Statistica using (ANOVA) and LSD test (least significant difference) at $P < 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of collected data showed that the activity of catalase has significantly increased after 24 hours both in the 1st/2nd leaf (Fig. 1), and subsequently the activity of catalase decreased, with the exception of the control. Similar increase occurred in tomato plant (*Solanum lycopersicum*) after the application of other pesticides /5/. The activity of catalase in the 3rd leaf was the lowest in the control plants 24 and 48 hours after pesticide application (Fig. 2) compared to the activity in 1st/2nd leaf (Fig. 1). Even, the recommended dosage of Gondola (G1x) caused a higher increase of catalase activity in 3rd leaf (109.6%) after 24 hours of the application compared to the 1st/2nd leaf (60.5%). The decrease in the activity 48 hours after the application can be explained by lower amounts of reactive oxygen species, e.g., H_2O_2 . Another reason of this decrease can be explained by catalase degradation, or inactivity of enzyme due to the impact of prolonged stress /6/. The reasons of this decrease; however, require further research.

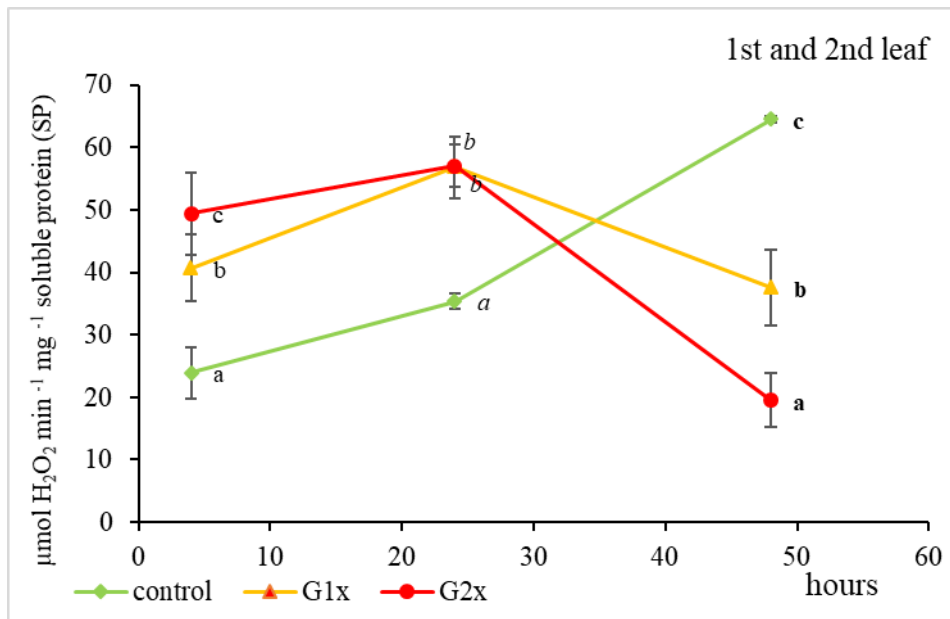


Fig. 1: The activity of catalase in the 1st and 2nd leaf of maize (*Zea mays* L.) plants, after the application of insecticide Gondola. Treatments: control - plants without any treatment of Gondola insecticide, G1x- plants treated with recommended dosage, G2x- plants treated with double-dose. The values are means \pm SE (standard error). The letters represent statistical differences between the treatments in one sampling time (4 hours, 24 hours, and 48 hours) at $P \leq 0.05$

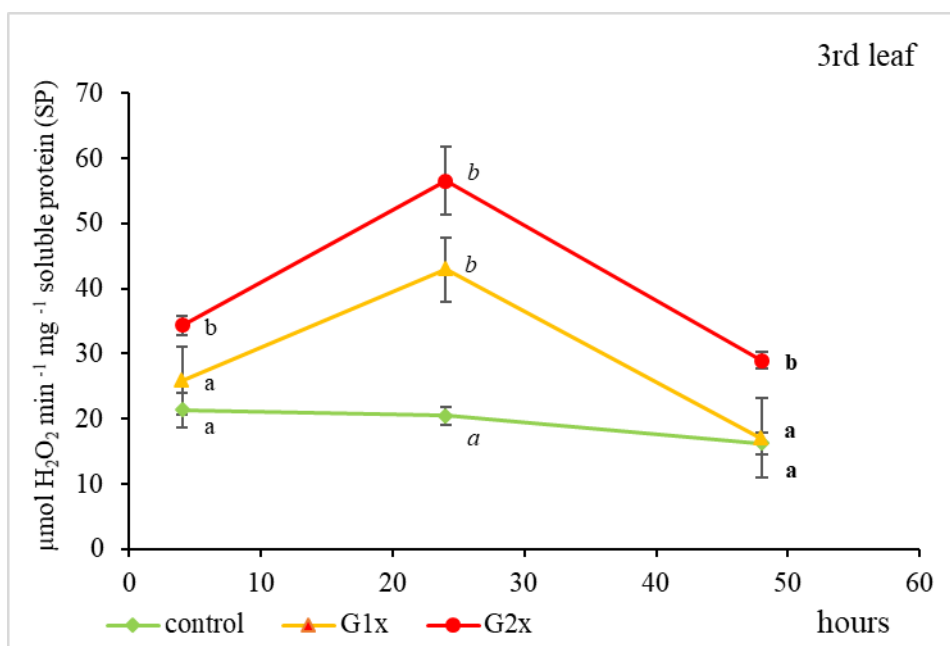


Fig. 2: The activity of catalase in third leaf of maize (*Zea mays* L.) after the application of insecticide Gondola. Treatments: control - plants without any treatment of Gondola insecticide, G1x- plants treated with recommended dosage, G2x- plants treated with double-dose. The values are means \pm SE (standard error). The letters represent statistical differences between the treatments in one sampling time (4 hours, 24 hours, and 48 hours) at $P \leq 0.05$

CONCLUSION

Although pesticides were designed to help salvage the food production during pest attack, their overuse has been deemed dangerous for the environment. Many pesticides persist in the soil and circulate to human food and cause harmful effects. Higher doses of pesticides in the environment can cause various effects in plants, including oxidative stress. Here we determined, that application of Gondola changes the catalase activity in maize depending on its dose/concentration and time after the application.

REFERENCES

- /1/ Yahya Al Naggar et al.: Bees under interactive stressors: the novel insecticides flupyradifurone and sulfoxaflor along with the fungicide azoxystrobin disrupt the gut microbiota of honey bees and increase opportunistic bacterial pathogens, *Science of the Total Environment*, 849, 2022: 157941.
- /2/ Willekens, H.: Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C3 plants. *The EMBO Journal*, 16(16),1997: 4806–4816
- /3/ Hodges, D.M. et al.: Antioxidant enzyme and compound responses to chilling stress and their combining abilities in differentially sensitive maize hybrids. (1997) *Crop Science*, 37, 1997: 857–886
- /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: 248-54
- /5/ Shakir, S.K. et al.: Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Ecotoxicology*, 27, 2018: 919–935
- /6/ Gill, S.S., Tuteja, N.: Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12) 2010: 909–930

Acknowledgment

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

OBSAH MAKRONUTRIENTOV V RASTLINÁCH OVPLYVNENÝCH IMISIAMI MAGNESITU

CONTENT OF MACRONUTRIENTS IN PLANTS AFFECTED BY MAGNESITE IMMISSIONS

Ivica Pivková, Ján Kukla, Katarína Sládeková, Margita Kuklová

Institute of Forest Ecology of the Slovak Academy of Sciences, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovak Republic,

e-mail: ivica.pivkova@ife.sk, kuklova@ife.sk, kukla@ife.sk

Summary

The study is focused on evaluating the macronutrients in plants affected by magnesite immissions. The obtained data were compared on the contaminated (A, B, C) and control (D) sites. PCA showed significantly highest amounts of Ca in leaves of *C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula* and *R. idaeus* (7,557–9,647 mg kg⁻¹) in zone D, the farthest from the pollution source, and significantly distinguish these species from the other plots. On the contrary, these plants are characterized by the significantly lowest contents of Na (13.6–16.7 mg kg⁻¹) and Mg (4,506–8,251 mg kg⁻¹). Increased alkaline dust in zones A to C revealed higher concentrations of Mg in the studied plants. The K and Na contents accumulated by *L. saligna* shoots in zone B were inversely correlated with the Ca content, meaning that as the K and Na contents increased, Ca decreased. Overall, *L. saligna* accumulated the highest amounts of Na (110.7 mg kg⁻¹) and K (35,615 kg⁻¹) compared to other plant species. The significantly lowest amounts of Ca and Mg were revealed by *P. distans* growing in zones A and B. The tightness of the correlation of Ca, Mg, K and Na content with the main components (PC1 and PC2) was greater than 0.75, which indicates a significant accumulation of nutrients in plants affected by magnesite immissions.

Key words: magnesite immissions, plant species, nutrient content, Central Slovakia

Súhrn

Štúdia je zameraná na hodnotenie makroživín v rastlinách ovplyvnených magnezitovými imisiami. Získané údaje boli porovnané na kontaminovaných (A, B, C) a kontrolných (D) lokalitách. PCA vykazovala signifikantne najvyššie množstvá Ca v listoch *C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula* a *R. idaeus* (7 557–9 647 mg kg⁻¹) v zóne D, najvzdialenejšej od zdroja znečistenia a tieto druhy výrazne odlišuje z ostatných pozemkov. Naopak, tieto rastliny sa vyznačujú výrazne najnižšími obsahmi Na (13,6–16,7 mg kg⁻¹) a Mg (4 506–8 251 mg kg⁻¹). Zvýšený alkalický prach v zónach A až C odhalil vyššie koncentrácie Mg v študovaných rastlinách. Obsahy K a Na nahromadené výhonkami *L. saligna* v zóne B boli nepriamo korelované s obsahom Ca, čo znamená, že keď sa obsah K a Na zvyšoval, Ca klesal. Celkovo *L. saligna* akumulovala najvyššie množstvá Na (110,7 mg kg⁻¹) a K (35 615 kg⁻¹) v porovnaní s inými druhmi rastlín. Výrazne najnižšie množstvá Ca a Mg sa odhalili v *P. distans* rastúcej v zónach A a B. Tesnosť korelácie obsahu Ca, Mg, K a Na s hlavnými zložkami (PC1 a PC2) bola väčšia ako 0,75, čo naznačuje výraznú akumuláciu živín v rastlinách ovplyvnených magnezitovými imisiami.

Kľúčové slová: magnezitové imisie, rastlinné druhy, obsah živín, stredné Slovensko

INTRODUCTION

Industrial activities are the biggest culprit of air pollution. Although mineral raw materials are extremely important for socio-economic development, the extraction of minerals and their use in various industrial processes play a leading role in increasing environmental pollution, and especially air pollution /1/. The accumulation of toxic elements in the plant is closely related to environmental conditions. There are also many stress factors (drought, pathogens, anthropogenic pollutants) that can directly or indirectly affect the concentration of risk elements in plants. Studies conducted so far have shown that the concentration of risk elements in plants decreases, as they move away from the source of pollution /3/. Deciduous plants are often used to monitor risk elements pollution. Plant leaves appear at the beginning of the growing season and are exposed to air pollution until the leaves fall. For example, plant leaves exposed to magnesium-rich dust are locally burned due to the causticity of magnesium oxides /6/.

The main consequence of mining and high-temperature processing of magnesite in Lubeník (Slovakia) is persistent alkalization of soils and damage to vegetation due to Mg immissions. The magnesite processing plant in Lubeník was founded in 1934 therefore the experience with environmental degradation and also with the reclamation of the affected land is long-term /11/. We assume that Mg emissions from this industrial centre significantly affect the ecotoxicological properties of soils, the vitality and abundance of plant species and the composition of their communities. The aim of this study was to evaluate the amounts of macronutrients accumulated in selected plants along the height gradient polluted by magnesite immissions.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in the immission field of exhalation sources Slovomag Lubeník, Central Slovakia (Fig. 1.). The magnesite plant produces magnesite clinkers and at the same time manufactures refractory products. Raw material is extracted underground at the Lubeník deposit. A substantial part of the deposit body consists of dolomite and metasomatic magnesite, vein magnesite was also found. The village of Lubeník belongs to the subprovince of the Inner Western Carpathians. It is located in the geomorphological unit of the Slovak Rudohorie, in the units of the Revúcka Vrchovina and the Stolické Vrchy. The research of soils and plants was carried out in the segments of forest ecosystems A (400 m, immediate vicinity of magnesite plant), B (600 m from the immission source), C (1000 m from the immission source) and D (control plot, 1500 m aerial distance from the immission source) during the summer aspect of phytocoenoses in July 2021 (Fig. 2.).

Collection of assimilatory organs of herbs and trees (approx. 30 individuals of each species; leaves of woody plants from the lower third of tree crowns) was carried out in 3 repetitions using a stratified design of random data collection in the period of vegetation optimum. The samples were dried at 80 °C, weighed and ground to powder using a Fritsch-Planetary Micro-Mill type agate mill. The total amounts of Ca, Mg, K and Na in plants were determined after mineralisation of plant samples by concentrated HNO₃ mixed with 2 ml of deionised water at 190° for 15 min in speedwave MWS-2 microwave pressure digestion system (Berghoff, Germany) with the FAAS technique using an air-acetylene flame and SensAA instrument (Braeside, Australia) according to ISO 11885.

Data were interpreted using Statistica, Version 9.0, StatSoft (Tulsa, USA). All the values were expressed as arithmetic mean \pm standard deviation (SD). The variability of mineral elements (Ca, Mg, K, Na) in plant species was assessed based on the results of a one-way ANOVA ($p \leq 0.05$) followed by a Tukey's post hoc test. Differences between means were considered significant when they occurred at $p < 0.05$. PCA was used to observe relationships between nutrient elements (Ca, Mg, K and Na) in plant species and to classify differences

between control and contaminated zones along an altitudinal gradient polluted by magnesite immissions.

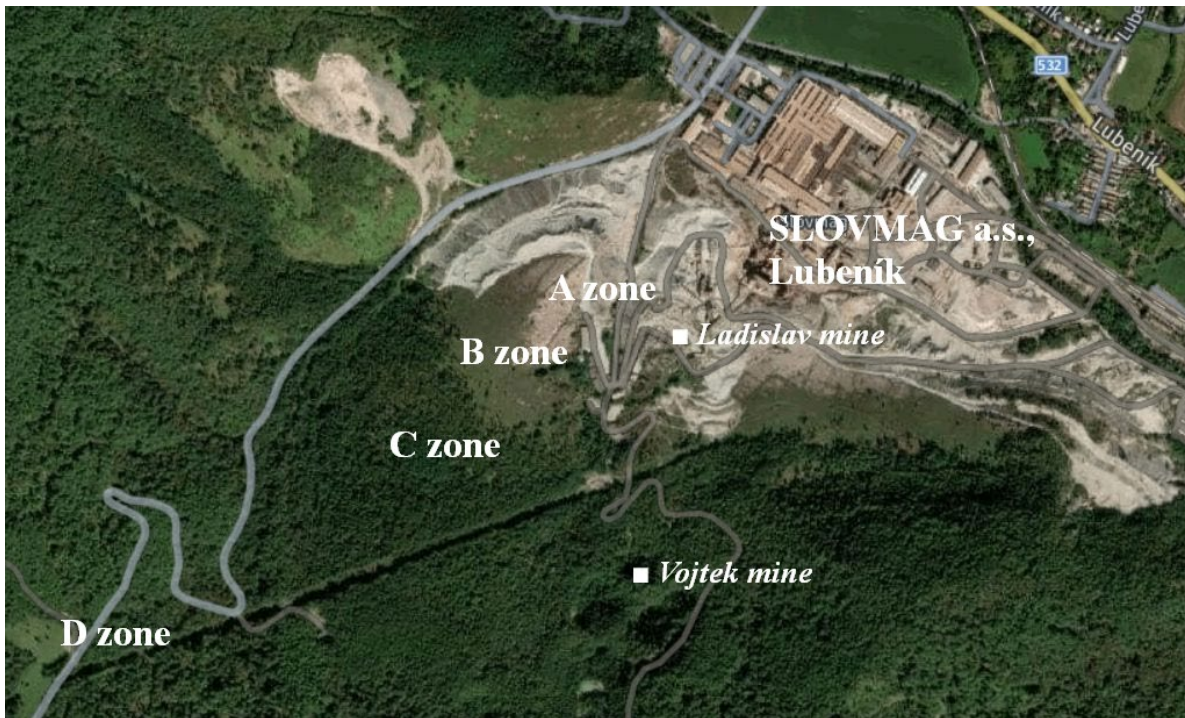


Fig. 1. The immission field of exhalation sources Slovmag Lubeník, Central Slovakia.

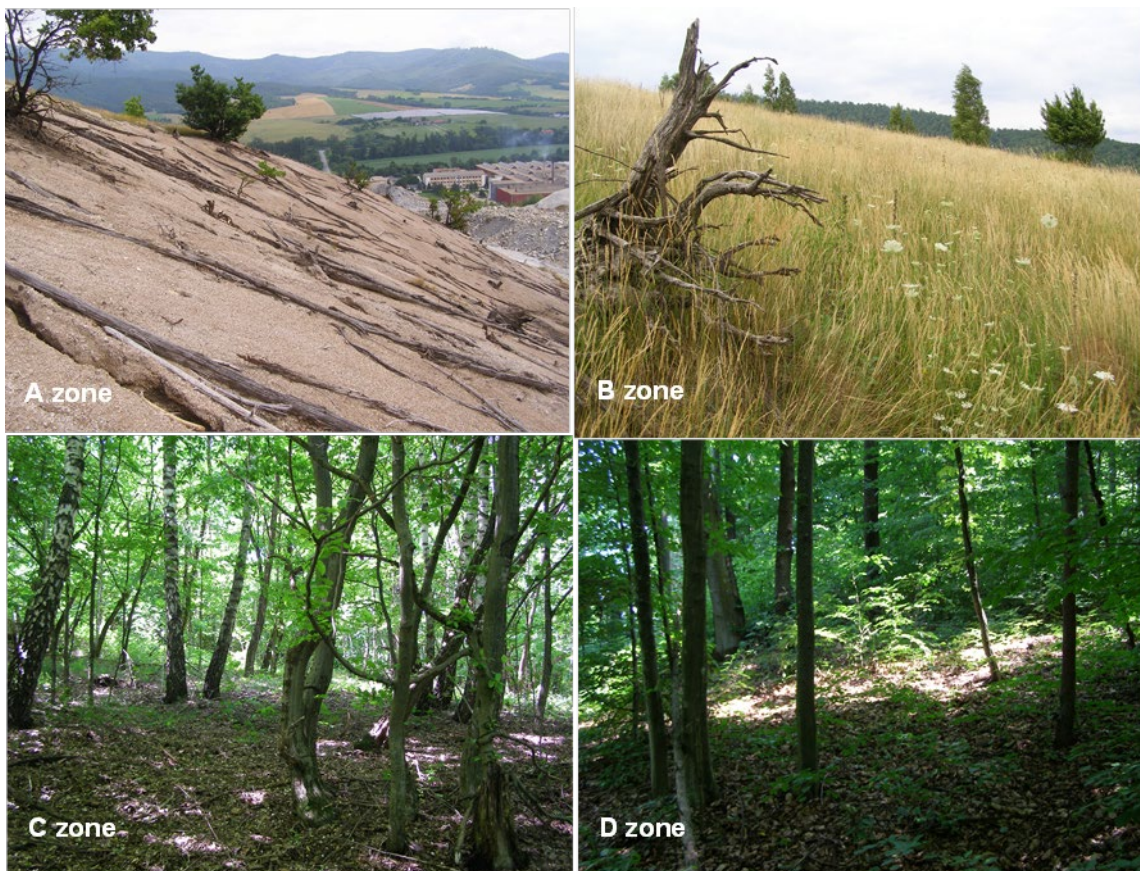


Fig. 2. Study zones A (400 m), B (600 m), C (1000 m) and D (1500 m) near magnesite factory in Lubeník (Slovakia).

RESULTS

The content of Ca in plant species fluctuated between 9647 mg kg⁻¹ (*C. betulus*, zone D) and 724 mg kg⁻¹ (*D. filix-mas*, zone C), (Fig. 3). Overall, significantly higher Ca contents (3523–9647 mg kg⁻¹) were recorded in plant species (*C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula*, *D. filix-mas*) growing on the D plot compared to the contents on other plots.

The Mg content detected in plant species ranged between 16304 mg kg⁻¹ (*L. saligna*, zone A) and 3259 mg kg⁻¹ (*P. distans*, zone B) and generally decreased with distance from the pollution source. The exception was species *D. filix-mas* with a higher value in the control zone (Fig. 3). When study plots were compared, only *P. distans* revealed a significant difference between plot A and B. Other species showed no significant differences.

Overall, the highest K contents (35615–19052 mg kg⁻¹) were found in *L. saligna* (zone B) and in the species *D. filix-mas* with *R. idaeus* (zones C and D). In the case of *C. betulus*, *Q. polycarpa*, and *B. pendula* the K contents were the lowest (4836–10776 mg kg⁻¹). A comparison of the plots showed that only *C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula* and *L. saligna* revealed significant differences between plots, (Fig. 3).

Overall, the Na content was the highest in *L. saligna* (110.3 mg kg⁻¹) on the B plot. This species exceeded the value several times compared to others plants. A comparison of the plots showed that *Q. polycarpa*, *B. pendula*, *L. saligna* and *R. idaeus* revealed significant differences between plots, (Fig. 3).

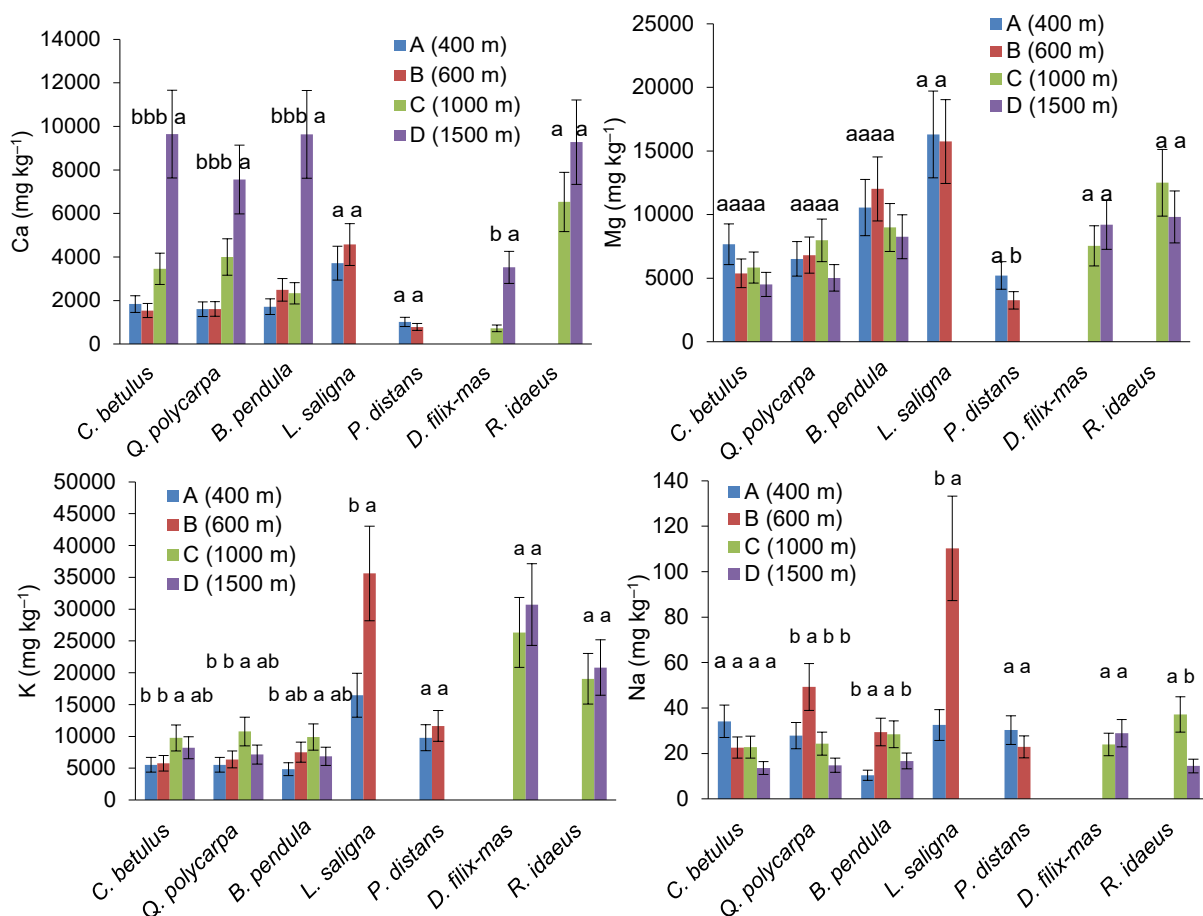


Fig. 3. Content of Ca, Mg, K, Na in the assimilatory organs of plant species at different distances from the source of pollution (A = 400 m, B = 600 m, C = 1000 m, D = 1500 m). Significantly different values (Tukey HSD test, $p < 0.05$) are indicated by different letters (a,b).

Plant variables displayed by correlation with principal components are shown in Table 1. The first PC described the maximum possible variance in the data of 51.52%, followed by the second PC which described 26.62% of the variance with eigenvalues of 2.06 and 1.06, respectively. PC3 and PC4 with eigenvalues below 1 represented insignificant components. The correlation coefficient of Mg, K and Na content with PC1 was 0.815, 0.835 and 0.836, respectively. Ca is positively correlated with PC2 (0.980). Since all values are greater than 0.75, it indicates significant accumulation of nutrients in plants affected by magnesite immissions.

Table 1. Plant variables shown based on correlation with principal components. PC3 and PC4 with eigenvalues below 1 represented insignificant components.

<i>Parameter</i>	<i>PC 1</i>	<i>PC 2</i>
<i>Calcium</i>	<i>0.038</i>	<i>0.980</i>
<i>Magnesium</i>	<i>0.815</i>	<i>0.132</i>
<i>Potassium</i>	<i>0.835</i>	<i>0.102</i>
<i>Sodium</i>	<i>0.836</i>	<i>-0.275</i>
<i>Eigenvalue</i>	<i>2.06</i>	<i>1.06</i>
<i>Variability (%)</i>	<i>51.52</i>	<i>26.62</i>

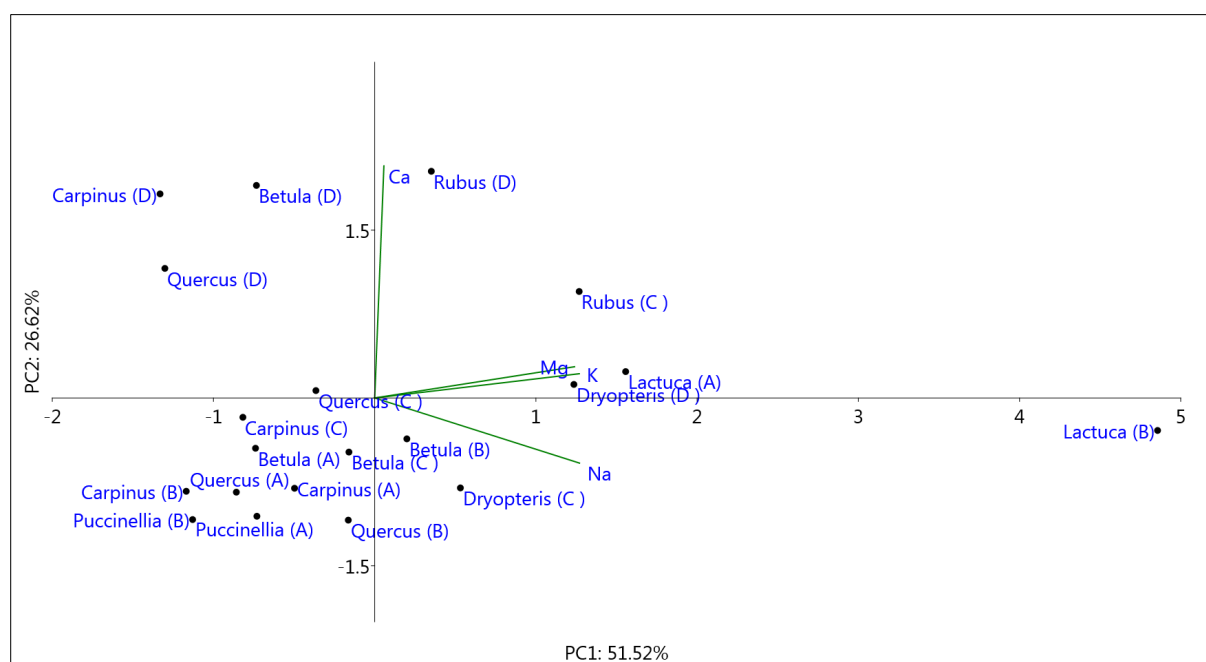


Fig. 4. PCA biplot showing correlation of the first two principal component axes to the content of mineral elements (Ca, Mg, K, Na) in plant species (*C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula*, *L. saligna*, *P. distans*, *D. filix-mas*, *R. idaeus*) at different distances from the source of pollution (A = 400 m, B = 600 m, C = 1000 m, D = 1500 m).

PCA showed, that significantly highest K amounts of Ca were found in *C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula* and *R. idaeus* (7557–9647 mg kg⁻¹) in zone D, the farthest from the pollution source, and significantly distinguish these species from the other sites (Fig. 4). On the contrary, these plants are characterized by the significantly lowest contents of Na (13.6–16.7 mg kg⁻¹) and Mg (4506–8251 mg kg⁻¹). Increased alkaline dust in zones A to C revealed higher concentrations of Mg in the studied plants. The K and Na contents accumulated by the leaves of *L. saligna* in zone B were inversely correlated with the Ca contents, meaning that the K and Na contents increased significantly and Ca decreased. Overall, *Lactuca saligna* accumulated

the highest amounts of Na (110.7 mg kg^{-1}) and K (35615 mg kg^{-1}) compared to other plant species. The significantly lowest amounts of Ca and Mg were revealed by *P. distans* growing in zones A and B.

Variability of nutrient elements in soil samples and their relationship to the distance from the emission source

Increased alkaline dust corresponded to a smaller distance from the emission source with higher pH values in the 0–30 cm soil layers in zones A (8.2 to 8.9) and B (7.3 to 7.9). Strong linear relationships were found between soil reaction and distance from the emission source (L layer: $R^2 = -0.967$, $p < 0.01$; 0–5 cm: $R^2 = -0.995$, $p < 0.01$; 10–20 cm: $R^2 = -0.972$, $p < 0.01$; 20–30 cm: $R^2 = -0.986$, $p < 0.01$). The content of Ca ($22,409 \text{ mg kg}^{-1}$) and Mg ($177,552 \text{ mg kg}^{-1}$) was highest in the 0–5 cm soil layer in the A zone. High levels of Mg in soils are toxic to plants, Mg toxicity usually occurs in soils, where plants are exposed to low Ca and high Mg conditions, leading to poor plant productivity [13]. On the contrary, this soil layer is characterized by the significantly lowest Na (155 mg kg^{-1}) and K (998 mg kg^{-1}) contents. Significantly low Na ($17\text{--}70 \text{ mg kg}^{-1}$) and K ($786\text{--}1,721 \text{ mg kg}^{-1}$) contents were also evident in soil layers L and F of the studied zones. Conversely, Na (726 mg kg^{-1}) and K ($6,302 \text{ mg kg}^{-1}$) content increased significantly in the 10–20 cm soil layer in the B zone. PCA also showed significantly low amounts of Ca ($447\text{--}508 \text{ mg kg}^{-1}$) and Mg ($562\text{--}576 \text{ mg kg}^{-1}$) in the 10–30 cm soil layers in zone D and significantly differentiated these horizons from other zones (Fig. 5.).

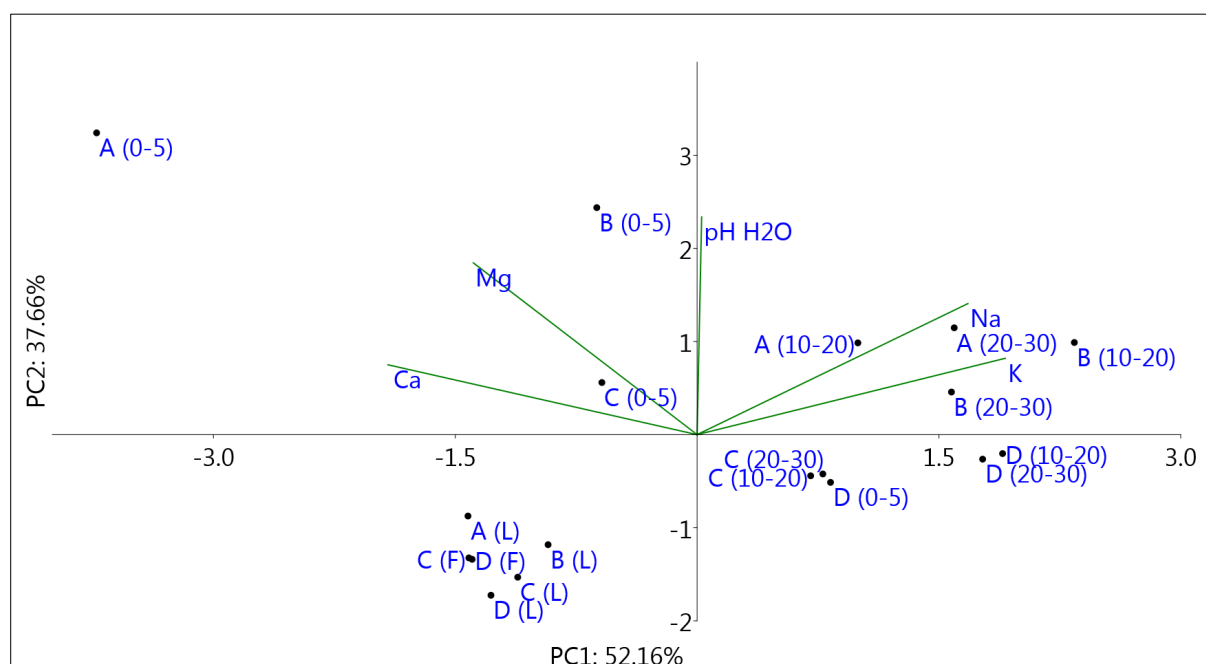


Fig. 5. PCA biplot showing correlation of the first two principal component axes to the soil variables (Ca, Mg, K, Na and pH_{H2O} values) and soil layers (L = necrotic sub-horizon, F = fermentation sub-horizon, 0–5, 10–20 and 20–30 cm) at different distances from the source of pollution (A = 400 m, B = 600 m, C = 1000 m, D = 1500 m).

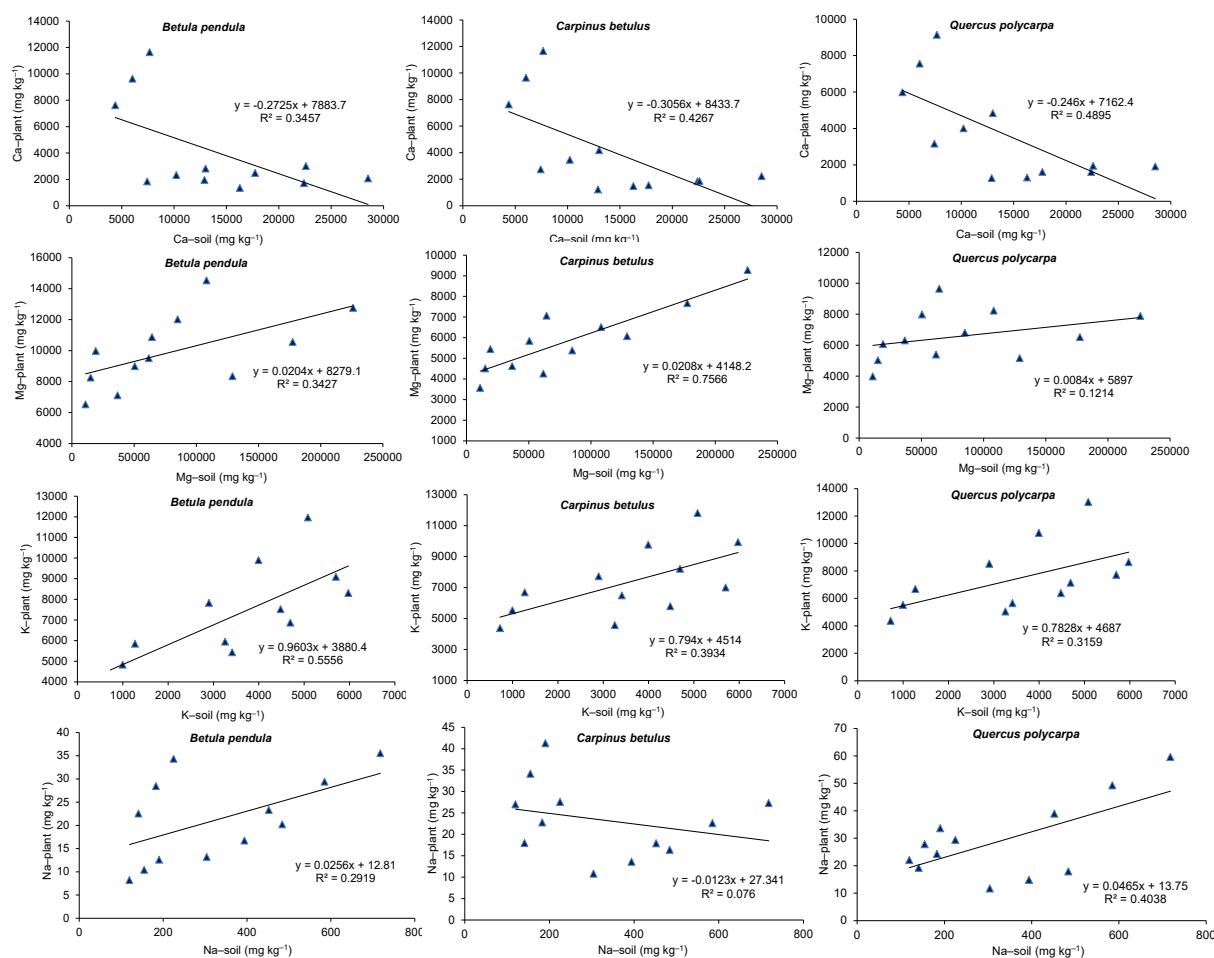


Fig. 6. Linear regressions between nutrient elements in soils and plants ($n = 12$, $p < 0.05$, $R^2 =$ determination coefficient).

Linear regressions revealed relatively strong negative relationships between content of Ca in soil and content of Ca in study plant species, representing 35% to 49% according to R^2 . In the case of Mg the concentrations in plants increased as the Mg contents in the soil increased. The coefficient of determination for Mg concentrations showed a strong relationship between *C. betulus* and soil ($R^2 = 76\%$) and a moderate relationship between *B. pendula* and soil ($R^2 = 34\%$). Also, the concentrations of K in the examined plant leaves are relatively strongly correlated with the corresponding concentrations of K in the soil (32% to 56% according to R^2). Na concentrations in the soil were slightly correlated with the corresponding concentrations in the leaves of *B. pendula* ($R^2 = 29\%$) and *Q. polycarpa* ($R^2 = 40\%$), (Fig. 6).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

It is clear from the results that in the locations with the magnesite industry, the nutrient content in plants along the height gradient is affected by Mg immissions. Soil pH results showed strongly alkaline to alkaline soil at the contaminated sites (A and B). Soils further from the emission source (C and D zones) have a neutral to slightly acidic soil reaction /10/.

Soil pH is an important factor that affects macronutrient uptake and plant growth. With a change in pH, the humification conditions often deteriorate, which blocks the intake of easily accessible nutrients and the overall nutrition of plants. The immission fallout, which decreased with increasing distance from the source, had different effects on the concentration of individual elements in the biomass of assimilatory organs/2, 9/.

Increased alkaline dust in zones A to C revealed higher Mg concentrations in plants, with the highest concentration determined in *L. saligna* (16,304 mg kg⁻¹). The critical concentration of Mg for higher plants varies between plant species, plant part, and stage of development. Optimal plant growth requires 2,000 mg kg⁻¹ dry matter of Mg, which has been known to be utilized in numerous physiological and biochemical processes /8/.

Excessive intake of Mg can lead to a decrease in K intake. This can explain the decrease in K content with increased immission load. Due to its important role in the regulation of the opening and closing of the stomata, K deficiency can be manifested by a reduced intensity of photosynthesis and also by a reduction in the amount of chlorophyll /4/.

Overall, we can interpret the results of the study as a lack or excess of nutrients in individuals growing along the height gradient polluted by magnesite immissions. For example, the highest concentration of Na in the study was determined in *L. saligna* as 110.3 mg kg⁻¹. While the highest value of Na concentration in samples taken from 1- and 2-year-old needles of Scots pines growing around a processing and mining of magnesite ore in Russia was determined as 205.64 ppm /1/. The Na content in the reference plant is reported as 150 mg Na kg⁻¹ /7/. In our study, the highest value of K concentration is determined as 35,615 mg kg⁻¹ in *L. saligna*. In a study by /1/ the highest value of K concentration in Scots pine needle samples is set at 5,177 ppm. /5/ reported that the concentration of K is 9,418.67 ppm in the leaf of *Acer platanoides* grown in the city centre of Kastamonu (Turkey). Assimilatory organs of woody plants (*C. betulus*, *Q. polycarpa*, *B. pendula*) studied in this work accumulated less Ca (from 1,606 to 9,647 mg kg⁻¹) and especially Na (from 10 to 49 mg kg⁻¹) than *Salix caprea* and *Betula pendula* (Ca: 8,904–10,138 mg kg⁻¹; Na: 4,743–5,619 mg kg⁻¹) growing in uranium mining dumps in the Sudety Mts., Poland. While assimilatory organs of tree species in Lubeník accumulated more Mg (3,260–16,304 mg kg⁻¹) than plants (3,570–4,183 mg kg⁻¹) from landfills containing uranium /14/. According to /8/, the average concentrations of K and Ca in the dry matter of plant shoots sufficient for adequate growth are 10,000 and 5,000 mg kg⁻¹. The high content of Mg in plant species in the areas of magnesite mining and processing is also confirmed by previous studies done by /12/. Authors state that the Mg content in Jelšava-Lubeník located in the Revúca was in the range of 2,420.00–17,400.00 mg kg, with the highest content being found in the order of *E. repens* root > *Agrostis stolonifera* root > *Phragmites australis* flower. In Košice mines located in the Košice regions, Mg values were in the range of 682.00–4,347.00 mg kg, while the highest content was found in the order of *Taraxacum officinale* leaf > *Taraxacum officinale* root > *Elytrigia repens* root.

The applied PCA allowed us to observe the relationships between the elements and to classify the differences between the control and contaminated zones. The variability and concentration of elements between zones was very different, so we can confirm that Mg emissions had a significant effect on plant nutrient content. Comparison of zones showed significant differences between plant species for Ca, K and Na. In relation to the total concentration of Mg in the assimilation organs, no significant differences were detected within plants along the height gradient polluted by magnesite immissions.

REFERENCES

- /1/ Alaqouri HAA, Genc CO, Aricak B, Kuzmina N, Menshikov S, Cetin M. 2020. The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation. *Environ Sci Pollut Res Int.* 27(16):20273-20280. doi: 10.1007/s11356-020-08449-1.
- /2/ Arduini I, Kettner C, Godbold DL, Onnis A, Stefani A (1998) pH influence on root growth and nutrient uptake of *Pinus pinaster* seedlings. *Chemosphere* 36: 733-738. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)10116-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10116-3).
- /3/ Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., Cometen, H. 2019. The usability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic originated heavy metal concentrations in Turkey. *Pol J Environ Stud* 29(2): 1051-1057.

- /4/ Attia H, Rebah F, Ouhibi C, Saleh MA, Althobaiti AT, Alamer KH, Ben Nasri M, Lachaâl M. 2022. Effect of Potassium Deficiency on Physiological Responses and Anatomical Structure of Basil, *Ocimum basilicum* L. *Biology (Basel)*, 11(11):1557. doi: 10.3390/biology11111557.
- /5/ Cetin M, Sevik H, Aricak B, Ozturk A, Ozer Genc C, Aisha AESA, Jawed AA, Aljama AMO, Alrabiti OBM (2019) The investigation of the change in concentrations of some heavy metals in seeds, leaves, and branches because of traffic density: a case study of *Acer platanoides* L. *Kastamonu Uni J Engin Sci (KUJES)* 5(2): 83–92. <https://dergipark.org.tr/en/pub/kastamonujes/issue/51074/626416>.
- /6/ Machín J, Navas A (2000) Soil pH changes induced by contamination by magnesium oxides dust. *Land Degrad Dev* 11:37–50. DOI: 10.1002/(SICI)1099-145X(200001/02)11:1<37::AID-LDR366>3.0.CO;2-8.
- /7/ Markert, B. *Instrumental Multielement Analysis in Plant Materials—A Modern Method in Environmental Chemistry and Tropical Systems Research; (Série 8), CETEM/CNPq: Rio de Janeiro, Brazil, 1995.*
- /8/ Marschner H (2012) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3rd edn. Academic Press, Adelaide, Australia.
- /9/ Meentemeyer V (1984) The geography of organic decomposition rates. *Ann Assoc Am Geogr* 74:551-560. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1984.tb01473.x>.
- /10/ Pivková I., Kukla J., Mihál I., Hnilička F., Hniličková H., Sládek K., Kuklová M. Obsah kadmia v pôdach ovplyvnených magnezitovými imisiami = Cadmium content in the soils affected by magnesite immissions. Ivica Pivková ... [et al.]. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023 : Sborník recenzovaných vědeckých prací*. Ed. František Hnilička. 1. vyd. - Praha ; Zvolen : Česká zemědělská univerzita : Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied, v.v.i., 2023, s. 42-47. Dostupné na internete: https://ife.sk/wp-content/uploads/2020/09/Zbornik_stresy2023.
- /11/ Polláková N, Hamar J, Šimanský V, Bartkowiak A, Lemanowicz J (2020) Secondary enrichment of soil by alkaline emissions: The specific form of anthropo-geogenic soil degradation near magnesite processing factories and possibilities of land management. *Land Degrad Dev* 32:881-895. <https://doi.org/10.1002/ldr.3770>.
- /12/ Štofejová, L.; Fazekaš, J.; Fazekašová, D. Transfer of Potentially Toxic Elements in the Soil-Plant System in Magnesite Mining and Processing Areas. *Processes* 2022, 10, 720. <https://doi.org/10.3390/pr10040720>.
- /13/ Tian, XY., He, DD., Bai, S. et al. Physiological and molecular advances in magnesium nutrition of plants. *Plant Soil* 468, 1–17 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05139-w>.
- /14/ Wislocka, M; Krawczyk, J; Klink, A; Morrison, L. 2006. Bioaccumulation of heavy metals by selected plant species from uranium mining dumps in the Sudety Mts., Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 5, 811-818.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and of Slovak Academy of Sciences (VEGA No. 2/0009/21 and VEGA No. 2/0045/22).

ZMENY VYBRANÝCH UKAZOVATEĽOV V RAŠELINE PO PRIDANÍ DREVNÉHO POPOLA

CHANGES IN THE SELECTED CHARACTERISTICS IN THE PEAT AFTER MIXING WITH WOOD ASH

Jana Luptáková, Slávka Tóthová

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav vo Zvolene, T. G. Masaryka 22,
960 01 Zvolen

jana.luptakova@nlcsk.org, slavka.tothova@nlcsk.org

Summary

The aim of this study is to gain knowledge on the changes in selected risk element contents in the growing mediums prepared by mixing the peat with the wood ash. Wood ash was acquired from the furnace bottom space of the biomass combustion plant (Hriňová) after the burning of the chemically untreated wood. Mercury, cadmium and lead contents in the wood ash were significantly lower than in the pure peat. The opposite is true for the chrome, arsenic, copper, nickel and zinc contents. All determined element contents were significantly below the limits given by the legislature. The results show that even the relatively high admixtures of the wood ash used in the growing mediums haven't fundamentally caused raised risk element concentrations and they won't represent phytotoxic risk for growing the forest tree species.

Key words: recycling, wood ash, risk elements, soil auxiliary substances

Súhrn

Cieľom práce je získať poznatky o zmenách obsahu vybraných rizikových prvkov v pestovateľských substrátoch pripravených zmiešaním rašeliny a drevného popola. Popol bol získaný z biomasovej kotolne (Hriňová) po spálení čistého chemicky neošetreného dreva z roštového priestoru kotla. Obsahy ortuti, kadmia a olova boli v samotnom popole signifikantne nižšie ako v čistej rašeline. Pri chróme, arzéne, medi, niklu a zinku to bolo opačne. Všetky obsahy sledovaných prvkov boli značne pod limitmi stanovenými legislatívou. Výsledky ukázali, že aj pomerne vysoké prímеси popola použité pri tvorbe substrátov nezvýšili koncentrácie rizikových prvkov zásadným spôsobom a nebudú predstavovať fyto toxické riziko pre pestovanie lesných drevín.

Kľúčové slová: recyklácia, drevný popol, rizikové prvky, pôdne pomocné látky

ÚVOD

Po spálení dreva za účelom výroby energie vzniká veľké množstvo drevného popola. Podľa dostupnej literatúry je svetová produkcia popola cca 170 Mt/rok /13/. V súčasnosti sa väčšina popolov skládkuje, čo zaberá pôdu, ovplyvňuje krajinu a tým aj životné prostredie /10/. Taktiež, poplatky za skládkovanie sa neustále zvyšujú. Preto je potrebné nájsť vhodné spôsoby recyklácie drevného popola za účelom zníženia jeho skládkovania podľa princípov cirkulárnej ekonomiky /12/. Keďže popol obsahuje mnohé výživové prvky potrebné pre rast rastlín, hlavne vápnik, fosfor, draslík a horčík, v menších množstvách aj mangán, železo, zinok, sodík a bór,

je možné využiť ho ako hnojivo, alebo hnojivú prímes v kompostoch a substrátoch /1, 6/. Zároveň môže byť drevný popol vďaka svojej silne zásaditej povahe použitý na zníženie acidifikácie lesných pôd /2/.

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

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

V rámci projektu bolo založených niekoľko experimentov v Biotechnologickom parku Stráže (BTP Stráže) a vo Výskumnej stanici v Gabčíkove (VS Gabčíkovo). V BTP Stráže boli postupne založené tri ukážky. V prvej bola zmiešaná rašelina s popolom v dvoch rôznych pomeroch a do výslednej zmesi boli zasadené tri dreviny, borovica lesná, smrekovec opadavý a buk lesný. Tieto sú pestované vo fóliovníku. V druhej bol popol aplikovaný v dvoch rôznych množstvách na pole v areáli BTP Stráže, kde boli zasadené rovnaké dreviny. V tretej ukážke sa postupovalo rovnako ako v prvej, ale popol bol nahradený celulóзовým kalom. V Gabčíkove boli postupne založené tiež tri ukážky. Prvá je rovnaká ako prvá ukážka v BTP Stráže, ale vysadené boli dreviny dub letný, lipa malolistá a brest väzový. V druhej ukážke boli tieto isté dreviny vysadené na pole v areáli VS a následne boli aplikované zmesi popola a rašeliny. V tretej ukážke sa uskutočňuje kompostovanie použitím štiepky, pokosenej trávy a drevného popola /5/.

Jedným z dôležitých faktorov využitia živín z drevného popola je environmentálna bezpečnosť, keďže obsahuje aj rizikové prvky /9/. Preto je tento príspevok zameraný na obsahy rizikových prvkov v použítom popole, rašelina a vytvorených substrátoch. Cieľom práce je nájsť vhodné množstvo prídavku popola, aby sa bezpečne využilo čo najviac živín, ktoré obsahuje.

MATERIÁL A METÓDY

Materiál

Popol použitý v experimente bol získaný z prevádzky spaľujúcej drevnú štiepku za účelom výroby energie, nachádzajúcej sa v Hriňovej (Hriňovská energetická s.r.o.) na Slovensku. Použil sa iba roštový popol, ktorý obsahuje menej výživových prvkov, ale aj menej rizikových prvkov. Na tento druh popola získal producent povolenie, že môže byť použitý ako pôdna pomocná látka. Na prípravu substrátov bola použitá komerčne dostupná rašelina od producenta Gramoflor GmbH & Co KG. Zmesi rašeliny a popola boli pripravené zmiešaním v plastovej nádobe v dvoch pomeroch a to 0,5 kg popola na 1 kg rašeliny (RPM) a 0,75 kg popola na 1 kg rašeliny (RP+).

Predúprava vzoriek

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

Ortuť

Obsah ortuti bol stanovený na prístroji AMA 254 Advanced Mercury Analyser od výrobcu Altec s.r.o., ktorý využíva techniku generovania pár kovovej ortuti s následným zachytením a obohatením na zlatom amalgamátore, čím je dosiahnutá vysoká citlivosť stanovenia. Výsledky boli vyhodnotené softwarom AMA 254 5.0.3.

Ostatné prvky

Celkové obsahy prvkov boli stanovené v mineralizáte lúčavky kráľovskej pripravenom podľa STN ISO 11466 /7/. Mineralizáty boli následne zmerané na ICP-AES ES 725 Varian. Získané výsledky boli vyhodnotené softwarom ICP Expert II 1.1.3.263 a prerátané na sušinu, ktorá bola získaná sušením vzoriek vo vákuovej sušiarňi Vacucell 55 pri teplote 105 ± 5 °C do konštantnej hmotnosti podľa STN ISO 11465 /8/.

Štatistické vyhodnotenie

Všetky získané výsledky boli štatisticky spracované v programe MS Excel 2016. Najskôr boli vypočítané základné popisné štatistiky. Následne bol na štatistické zhodnotenie výsledkov použitý dvojvýberový Studentov test s rovnakým rozptylom a obojstranným rozdelením. Ako hodnotiace kritérium bola použitá hladina významnosti 5% ($p = 0,05$).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vo vzorkách popola a rašeliny boli stanovené obsahy rizikových prvkov ešte pred vytvorením ich zmesí. Vo vzorkách zmesí RPM a RP+ boli tieto ukazovatele stanovené v deň ich zmiešania, po dvoch týždňoch a po šiestich týždňoch. Ďalšie vzorky sú odoberané v pravidelných intervaloch raz za mesiac za účelom sledovania zmien v obsahoch týchto prvkov. Získané výsledky sú zhrnuté v Tab. 1 a Tab. 2. V tabuľkách sú uvedené aj limity pre jednotlivé rizikové prvky v substrátoch s rašelinou a pre pôdne pomocné látky.

Všetky sledované ukazovatele boli značne pod týmito limitmi v popole aj v pripravených substrátoch. Niektoré z týchto prvkov sa môžu v pôde akumulovať /4/, preto je dôležité ich sledovať aj v dlhšom časovom období.

Obsahy ortuti, kadmia a olova boli v samotnom popole signifikantne nižšie ako v čistej rašeline. Pri chróme, arzéne, medi, niklu a zinku to bolo opačne. Obsah ortuti v zmesiach sa s časom nelíšili signifikantne. V zmesi s väčším obsahom popola bol síce spočiatku väčší obsah ortuti ako v zmesi s menším obsahom popola, ale pri ďalších vzorkách už bol signifikantne nižší. Po zmiešaní v pomere 1:0,5 sa obsah kadmia časom signifikantne nemenil, ale v zmesi s väčším obsahom popola došlo k jeho signifikantnému zvýšeniu. V zmesi s nižším obsahom popola boli zo začiatku obsahy olova signifikantne nižšie, ale neskôr sa to zmenilo. Výrazne vyšší obsah chrómu v popole v porovnaní s rašelinou sa prejavil aj v zmesiach, kde bol obsah chrómu signifikantne vyšší v zmesi s väčším množstvom popola. Obsah chrómu sa časom postupne signifikantne zvyšoval.

Tab. 1: Obsahy ortuti, kadmia, olova a chrómu v popole, rašelina a ich zmesiach a príslušné limity

Ukazovateľ	Ortuť	Kadmium	Olovo	Chróm
Jednotka	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Popol	0,0030 ± 0,0002	0,061 ± 0,006	12,2 ± 0,6	41,5 ± 1,2
Rašelina	0,0496 ± 0,0009	0,338 ± 0,055	17,2 ± 0,9	0,548 ± 0,073
RPM 25.3.24	0,0222 ± 0,0017	0,278 ± 0,020	7,10 ± 0,74	12,0 ± 0,3
RPM 9.4.24	0,0284 ± 0,0013	0,288 ± 0,020	7,13 ± 0,68	19,6 ± 0,5
RPM 7.5.24	0,0186 ± 0,0021	0,220 ± 0,081	12,3 ± 2,3	18,4 ± 2,6
RP+ 25.3.24	0,0261 ± 0,0029	0,308 ± 0,016	10,1 ± 1,0	14,1 ± 0,1
RP+ 9.4.24	0,0237 ± 0,0040	0,371 ± 0,037	8,03 ± 1,17	14,6 ± 0,6
RP+ 7.5.24	0,0166 ± 0,0013	0,436 ± 0,052	10,3 ± 3,5	20,9 ± 3,0
Limit*	1	2	100	100

*limitné hodnoty rizikových prvkov pre substrát s rašelinou, podľa Vyhlášky MP SR č. 577/2005, ktorou sa ustanovujú typy hnojív, zloženie, balenie a označovanie hnojív, prípustné odchýlky a limitné hodnoty pre hospodárske hnojivá

Tab. 2: Obsahy arzénu, medi, niklu a zinku v popole, rašelina a ich zmesiach a príslušné limity

Ukazovateľ	Arzén	Meď	Nikel	Zinok
Jednotka	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Popol	1,69 ± 0,19	65,0 ± 2,6	15,3 ± 0,7	128 ± 0
Rašelina	1,08 ± 0,12	7,07 ± 0,38	3,09 ± 0,27	21,3 ± 0,3
RPM 25.3.24	2,34 ± 0,21	24,2 ± 0,7	3,27 ± 0,27	61,5 ± 2,3
RPM 9.4.24	1,50 ± 0,25	24,0 ± 0,3	4,80 ± 0,47	57,8 ± 8,0
RPM 7.5.24	4,19 ± 1,03	26,9 ± 4,0	7,77 ± 2,05	63,2 ± 5,8
RP+ 21.3.24	2,99 ± 0,26	29,7 ± 0,9	4,45 ± 0,59	93,1 ± 6,2
RP+ 9.4.24	3,07 ± 1,13	31,2 ± 1,6	5,65 ± 1,25	66,4 ± 12,8
RP+ 7.5.24	1,94 ± 0,65	27,4 ± 0,3	10,7 ± 0,6	64,6 ± 5,0
Limit*	15 (**10)	100	50	400

*limitné hodnoty rizikových prvkov pre substrát s rašelinou, podľa Vyhlášky MP SR č. 577/2005, ktorou sa ustanovujú typy hnojív, zloženie, balenie a označovanie hnojív, prípustné odchýlky a limitné hodnoty pre hospodárske hnojivá

**limitné hodnoty rizikových prvkov pre pôdne pomocné látky obsahujúce aj odpady, podľa Prílohy č. 3, tab. 4 k vyhláške MP SR z 23.5.2005, ktorou sa ustanovujú typy hnojív, zloženie, balenie a označovanie hnojív, analytické metódy skúšania hnojív, rizikové prvky, ich limitné hodnoty pre hospodárske hnojivá, Zb. zákonov č. 575/2005

Na začiatku bol obsah arzénu v zmesi s väčším obsahom popola signifikantne vyšší, časom sa to zmenilo a v zmesi RP+ bol obsah tohto prvku signifikantne nižší ako v zmesi RPM. V zmesi RPM časom obsah medi signifikantne stúpol, zatiaľ čo v zmesi RP+ signifikantne klesol, avšak aj v posledných analyzovaných vzorkách bol obsah medi v zmesi RPM signifikantne nižší ako v zmesi RP+. Obsah niklu v zmesiach sa časom postupne signifikantne zvyšoval a v zmesi s vyšším obsahom popola bol signifikantne vyšší ako v zmesi s nižším obsahom popola. To isté platí pre obsah zinku v zmesi s nižším obsahom popola, ale v zmesi RP+ bol pozorovaný opačný trend.

Výsledky ukázali, že aj pomerne vysoké prímеси popola použité pri tvorbe substrátov nezvýšili koncentrácie rizikových prvkov zásadným spôsobom a nebudú predstavovať fytotoxické riziko pre pestovanie lesných drevín.

ZÁVER

Použité pomery zmiešania rašeliny s drevným popolom majú obsahy rizikových látok pod limitmi pre substráty pripravené na báze rašeliny uvedenými v legislatíve. Demonštračná ukážka, z ktorej pochádzajú uvedené výsledky bola založená na jar 2024. Je dôležité sledovať zmeny, ktoré môžu v týchto zmesiach časom nastať. Preto sú naplánované ďalšie odbery vzoriek v pravidelných časových intervaloch. Takisto by bolo užitočné vyskúšať aj iné pomery zmiešania drevného popola s rašelinou. Plánované sú aj analýzy biomasy z drevín, ktoré sa v týchto zmesiach vypestujú a porovnanie s kontrolnými vzorkami vypestovanými v čistej rašeline.

LITERATÚRA

- /1/ Asare, M. O., Hejzman, M. 2022. Effect of tree species on the elemental composition of wood ashes and their fertilizer values on agricultural soils. *Global Change Biology Bioenergy* 14, 12, p. 1321-1335.
- /2/ Baloch, S. B., Ali, S., Bernas, J. et al. 2024. Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. *Chemosphere*, 357, 141865.
- /3/ ČSN ISO 11464:2011. Kvalita pudy – Úprava vzorku pro fyzikálně-chemické rozbory.
- /4/ Gustafsson, J. P., Affholder, M.-C., Dahlin, A. S. 2024. Cadmium accumulation in soil resulting from application of biogas digestate and wood ash – Mass balance modelling. *Applied Geochemistry*, 165, 105951.
- /5/ Luptáková, J., Krupová, D., Tóthová, S. 2024. Obnova a rozšírenie infraštruktúry CLL na podporu demonštračných ukážok v rámci projektu Upgrade LignoSilva, v časti „Recyklácia odpadov“. 12. česko-slovenský odborný seminár k monitoringu lesov, Smrekovica - Veľká Fatra, Slovensko, 22. – 24.5.2024, p. 44-45, ISBN 978-80-8093-361-6.
- /6/ Rolka, E., Żolnowski, A. C., Wyszowski, M. et al. 2023. Wood Biomass Ash (WBA) from the Heat Production Process as a Mineral Amendment for Improving Selected Soil Properties. *Energies*, 16, 13, 5110.
- /7/ STN ISO 11466:2001. Kvalita pôdy. Extrakcia stopových prvkov rozpustných v lúčavke kráľovskej.
- /8/ STN ISO 11465:2001. Kvalita pôdy. Stanovenie obsahu sušiny a hmotnostného obsahu vody. Gravimetrická metóda.
- /9/ Szostek, M., Szpunar-Krok, E., Ilek, A. 2023. Chemical Speciation of Trace Elements in Soil Fertilized with Biomass Combustion Ash and Their Accumulation in Winter Oilseed Rape Plants. *Agronomy*, 13, 3, 942.
- /10/ Thomas, B. S., Yang, J., Mo, K. H. 2021. Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 40, 102332.
- /11/ Tóthová S. (2022): Vlastnosti popolov z dreva. In : Mačala, J., Carach, V. (eds.), 2022. Ochrana ovzdušia 2022. Kongres STUDIO, spol. s r.o. Zborník recenzovaných príspevkov z medzinárodnej konferencie Ochrana ovzdušia 2022, 23.-25. novembra 2022, Vysoké Tatry, Hotel Patria, 222 s. ISBN 978-80-89565-56-6, EAN 9788089565566, s. 38-47.
- /12/ Tóthová S. (2023): Miesto pre drevný popol v cestovnej mape obehovej bioekonomiky na Slovensku. In: LignoSilva 2023: Zborník odborných prác z konferencie, 13. júna 2023. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, s. 69-72. ISBN: 978-80-8093-346-3.
- /13/ Zhai, J., Burke, I. T., Stewart, D. I. 2021. Beneficial management of biomass combustion ashes. *Renewable management of biomass combustion ashes*, 151, 111555.

POĎAKOVANIE

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

VPLYV CELULÓZNEHO KALU NA POČIATOČNÝ VÝVOJ SEMENÁČIKOV

THE EFFECT OF CELLULOSE SLUDGE ON THE INITIAL DEVELOPMENT OF SEEDLINGS

Vladimír Mačejovský, Slávka Tóthová, Ivan Horvát, Slavomír Strmeň

Národné lesnícke centrum, T.G.Masaryka 22, 960 01 Zvolen

Summary

Paper sludge is classified as organic waste, mainly in the cellulose and paper industry. It has been applied to agricultural land for a long time, where it has already proven its usefulness with proper management. The presented work focuses on the influence on the initial development of seedlings after the reuse of cellulose sludge in the species *Pinus sylvestris*, *Larix decidua* and *Fagus sylvatica*. From the obtained results, we demonstrated a positive influence of cellulose sludge on the initial development of seedlings of the species *P. sylvestris* and *L. decidua*. In the case of the *F. sylvatica* species, however, the negative influence of cellulose sludge on the initial development of seedlings was manifested, which was probably conditioned by the quality of the monitored section of the seed material.

Key words: cellulose sludge, reproductive material, phenology

Súhrn

Papierenský kal, ktorý je zaradený ako organický odpad hlavne v priemysle celulózy a papiera, je už dlhodobo aplikovaný do poľnohospodárskej pôdy, kde už potvrdil svoju prospešnosť pri správnom manažmente. Predkladaná práca sa zameriava na vplyv na počiatocný vývoj semenáčikov po opätovnom využití celulózového kalu pri druhoch *Pinus sylvestris*, *Larix decidua* a *Fagus sylvatica*. Zo získaných výsledkov sme demonštrovali pozitívny vplyv celulózneho kalu na počiatocný vývoj semenáčikov druhu *P. sylvestris* a *L. decidua*. Pri druhu *F. sylvatica* sa ale prejavil negatívny vplyv celulózneho kalu na počiatocný vývoj semenáčikov, čo bolo pravdepodobne podmienené kvalitou sledovaného oddielu semenného materiálu.

Kľúčové slová: celulózny kal, reprodukčný materiál, fenológia

ÚVOD

V drevospracujúcom priemysle na Slovensku patrí celulózo-papierenský priemysel medzi najstabilnejšie odvetvie. Ročná spotreba na osobu na Slovensku je pomerne vysoká, aj keď domáca spotreba je nižšia ako produkcia. Svojou činnosťou tento priemysel produkuje určité druhy odpadov, ktoré je potrebné odstrániť, alebo opätovne využiť. V našom prípade sa jedná o celulózový kal /1/.

Celulózovo-papierenský kal, ktorý je zaradený ako organický odpad, je hlavným odpadom v priemysle celulózy a papiera. Vzniká z častí lignínových a celulózových vlákien, ktoré sa nezachytia a s vodou sú premiestnené do odpadových vôd, z ktorých je v čistiarňach odpadových vôd separovaný. Tieto kaly sú zložené hlavne z nerozpustných látok, vlákien z buničín a papiera, lepenky, ale môže obsahovať aj časti kôry, či vyzrážaný síran a siričitan

vápenatý. Papierenský kal je už dlhodobo aplikovaný do poľnohospodárskej pôdy, kde už potvrdil svoju prospešnosť pri správnom manažmente /6/.

Existencia drevospracujúceho priemyslu, ktorého neoddeliteľnou súčasťou je tvorba odpadov, je neodmysliteľnou súčasťou spoločnosti. Pre zaistenie stabilného využívania obnoviteľných prírodných zdrojov (v našom prípade drevnej hmoty), je potrebné nájsť čo najviac spôsobov recyklácie a opätovného využitia týchto odpadov. Z daného dôvodu sa projekt zameriava na demonštráciu opätovného využitia celulózneho kalu pri pestovaní lesného reprodukčného materiálu pre lesnícke a agrolesnícke využitie a ich prípadnému vplyvu na kvalitatívne a kvantitatívne vlastnosti reprodukčného materiálu rôznych druhov. Predkladaná práca sa zameriava na vplyv na počiatočný vývoj semenáčikov po opätovnom využití celulózneho kalu pri druhoch *Pinus sylvestris*, *Larix decidua* a *Fagus sylvatica*.

Zo získaných výsledkov dokazujúce pozitívny, alebo žiadny vplyv na produkciu biomasy a kvalitu pôdy v lesníctve a agrolesníctve, môžu mať vplyv na úpravu legislatívy využitia odpadov ako sú celulózne kal, ako aj pri samotnej produkcii kvalitného lesného reprodukčného materiálu.

MATERIÁL A METODIKA

Osivo na ktorom sme pozorovali vplyv využitia odpadov a na ich nasledovnú vývoj sme získali z oficiálne registrovaných oddielov semena, ktoré sú nasledovné:

- Borovica lesná – evidenčné č. psy214TR-005, č. listu o pôvode SK/002-2021-TR-L, semenárska oblasť 1 Severoslovenská,
- Smrekovec opadavý – evidenčné č. lde224RK-035, č. listu o pôvode SK/001-2023-RK-L, semenárska oblasť 2 Podtatranská,
- Buk lesný – evidenčné č. fsy224HE-095, č. listu o pôvode SK/007-2022-HE-M, semenárska oblasť 2 Severo-východoslovenská.

V experimente bol použitý drevený kal, získaný z výroby celulózy a papiera (Mondi SCP Ružomberok). Materiál bol zásaditý (pH 10,01), s vysokým obsahom uhličitanov (84,7%), ale s nízkym obsahom dusíka (>0,02%). Vyznačoval sa vysokými celkovými obsahmi makroživín, zároveň aj ich dobrou prístupnosťou, ktorá bola stanovená vo výluhu Mehlich III (hodnoty uvedené v zátvorke mg.kg⁻¹). Celkový obsah vápnika 202 421 mg.kg⁻¹ (prístupný 2 362 mg.kg⁻¹); celkový obsah draslíka 10 506 mg.kg⁻¹ (prístupný 8 609 mg.kg⁻¹); celkový obsah horčíka 18 225 mg.kg⁻¹ (prístupný 5 689 mg.kg⁻¹); celkový obsah fosforu 1 641 mg.kg⁻¹ (prístupný 5 105 mg.kg⁻¹).

Tab: 1: Chemické zloženie celulózneho kalu.

	Hg	Cd	Pb	Cr	As	Cu	Mo	Ni	Zn	Se
1)	0,08	3,94	12,1	6,6	1,17	78,1	nd	70,2	276	3,9
2)	1	2	100	100	10	100	5	50	400	5
3)	1	2	100	100	15	100	5	50	400	5
4)	10	13	500	1000	50	1200	25	200	3000	-

Pre demonštráciu prítomnosti celulózneho kalu v substráte a jeho vplyvu na počiatočný vývoj semenáčikov, sme pokusný semenný materiál vysadili do rašeliny so znovu použitým

odpadom to v pomere 10 kg rašeliny a 7,5 kg celulózneho kalu. Vývoj semenáčikov sme sledovali počas štyroch týždňov (29.4.-20.5.2024) a to jedenkrát týždenne, pričom sa jedincom prideliovali hodnoty fenologickej úrovne 0-4:

- 0 – nevyklíčený,
- 1 – viditeľná čiapočka a ohyb kmienka,
- 2 – viditeľná stonka – semenáčik kolmo nad zemou,
- 3 – viditeľné ihlice a čiapočka,
- 4 – semenáčik bez čiapočky.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pomocou Kruskalo-Wallisovej analýzy (tabuľka 2) rozdielov sme zistili, že rozdiely fenologického vývoja v rámci sledovaných druhov medzi semenáčikmi rastúcimi na 100% rašeline a semenáčikmi rastúcimi na rašeline s aplikáciou celulózneho kalu je štatisticky signifikantný. Zároveň sa ukázalo, že daný fenologický vývoj je signifikantne rozdielny aj medzi sledovanými druhmi. Medzidruhový rozdiel fenologického vývoja a prežitia semenáčikov je hlavne dôsledkom odlišných kvalitatívnych a kvantitatívnych vlastností semenného materiálu, ktoré sú pre dané druhy charakteristické /5/.

Tab: 2: Kruskalov-Wallisov test fenologických rozdielov

Variant	Kruskal-Wallis H	127 233
<i>Pinus sylvestris</i>	Asymp. Sig.	0,000
Variant	Kruskal-Wallis H	121 347
<i>Larix decidua</i>	Asymp. Sig.	0,000
Variant	Kruskal-Wallis H	231 155
<i>Fagus sylvatica</i>	Asymp. Sig.	0,000

Spearmanova korelačná analýza nám ukazuje signifikantnú koreláciu medzi fenologickým vývojom a prítomnosťou celulózneho kalu. Výsledky ukazujú pozitívny vplyv prítomnosti celulózneho kalu na rastový vývoj sledovaných semenáčikov. Opätovne sa ukázala aj korelácia medzi fenologickým vývojom a sledovanými druhmi (tabuľka 3), čo je stále dôsledkom charakteristických vlastností semenného materiálu daných sledovaných druhov /5/.

Pri bližšej analýze sme zistili (tabuľka 4.), že fenologický vývoj za prítomnosti celulózneho kalu v rašeline, bol signifikantne horší pri druhu *F. sylvatica*. Jedná sa pravdepodobne o vplyv kvality daného oddielu použitého semenného materiálu, keďže na celkový vývoj nového semenáčika má vplyv kvalita osiva, ktorá je pod silným genetickým vplyvom a je dedená od matky /4/. Medzi faktory ovplyvňujúce tvorbu semien považujeme aj okolité klimatické faktory, nutričné zásoby získané od matky, vek ale aj veľkosť semien /2, 3, 4/. Z tohto dôvodu, je potrebné demonštráciu opakovať aj s inými semennými oddielmi. Zároveň sú potrebné ďalšie ciele štúdie a demonštrácie, kde sa budú sledovať ďalšie možné vzťahy medzi opätovnými využitím drevného popola a produkciou drevín.

Tab. 3: Spearmanov korelační analýza. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). **

		variant	drevina	fenologia
variant	Correlation Coefficient	1,000	,000	,088**
	Sig. (2-tailed)	.	1,000	,000
	N	3360	3360	3350
drevina	Correlation Coefficient	,000	1,000	-,209**
	Sig. (2-tailed)	1,000	.	,000
	N	3360	3360	3350
fenologia	Correlation Coefficient	,088**	-,209**	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.
	N	3350	3350	3350

Tab. 4: Spearmanov korelační analýza v rámci druhů.

Druh Species			Fenologia phenology	Variant
Pinus sylvestris	Fenologia Phenology	Correlation Coefficient	1	-0,118
		Sig. (2-tailed)	.	0,00
		N	1118	1118
	Variant	Correlation Coefficient	-0,118	1
		Sig. (2-tailed)	0,00	.
		N	1118	1120
Larix decidua	Fenologia Phenology	Correlation Coefficient	1	-0,156
		Sig. (2-tailed)	.	0,00
		N	1113	1113
	Variant	Correlation Coefficient	-0,156	1
		Sig. (2-tailed)	0,00	.
		N	1113	1120
Fagus sylvatica	Fenologia Phenology	Correlation Coefficient	1	0,537
		Sig. (2-tailed)	.	0,000
		N	1119	1119
	Variant	Correlation Coefficient	0,537	1
		Sig. (2-tailed)	0,000	.
		N	1119	1119

ZÁVER

Z výsledkov môžeme konštatovať, že kal má hlavne pri druhoch *P. sylvestris* a *L. decidua* pozitívny vplyv na počiatkový vývoj semenáčikov. Či tento kal bude mať vplyv na následný rast, či fenológiu semenáčikov, potrebujeme overiť ďalšími meraniami. Zatiaľ môžeme predpokladať, že zapracovanie celulózneho kalu do pôdy, má pozitívny vplyv na pestovaný reprodukčný materiál a teda sa môže jednať o ďalší spôsob ako sa odstrániť, alebo recyklovať takýto druh odpadu.

LITERATÚRA

- /1/ Demko, J. (2003). Energetické zhodnocovanie celulózo-papierenských kalov; (Energy appraising of cellulose-paper sludges). Banskštiavnické Dni 2003, 10.
- /2/ Gómez, JM. (2004). Bigger is not always better: Conglicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, 58(1), 71–80.
- /3/ Pandey, R., Bargali, K., SS, B. (2017). Does Seed Size Affect Water Stress Tolerance in *Quercus leucotrichophora* A. Camus at Germination and Early Seedling Growth Stage? *Biodiversity International Journal*, 1(1), 24–30. <https://doi.org/10.15406/bij.2017.01.00005>
- /4/ Pesendorfer, MB. (2015). The Effect of Seed Size Variation in *Quercus pacifica* on Seedling Establishment and Growth.
- /5/ Sarvaš, M., Bruchánik, R., Hoffmann, J., Chválková, K., Ježovič, V. (2010). Základné charakteristiky lesných drevín - ekologické nároky, morfológia, lesné semenárstvo a škôlkarstvo, obhospodarovanie génových základní. In Základné charakteristiky lesných drevín (p. 82). Národné Lesnícke Centrum.
- /6/ SINBIO. (2016). Štúdia využitia popola zo spaľovania drevnej štiepky na pestovanie rýchlo rastúcich drevín v súlade s najlepšou praxou v zahraničí. In SINBIO - Sustainable Innovation In Bioenergy. www.eeagrants.sk

Pod'akovanie

The study was funded by the European Commission within the LignoSilva project [Grant Agreement #101059552] under the Horizon Europe Teaming for Excellence action.

AN OVERVIEW OF SEED PRIMING: FROM CONCEPT TO REALITY**PŘEHLED METODY "SEED PRIMING": OD KONCEPTU K REALITĚ**

Mustafa Ghulam, Božena Šerá

Department of Environmental Ecology and Landscape Management,
Comenius University Bratislava,
ghulam1@uniba.sk**Summary**

Seed priming serves as a crucial agrotechnical method for enhancing the germination, vigor, and uniformity of plant emergence prior to sowing. The objective of seed priming is to activate metabolic processes and halt the germination process before completion of seed germination. Different seed priming methods are available to accommodate various crop species and conditions, offering flexibility in agricultural practices. The effectiveness of seed priming can be influenced by factors such as plant species, seed quality, chosen method, duration, temperature, and chemicals used. Seed priming offers several advantages, including increased germination rates, enhanced emergence uniformity, improved stress tolerance, and potentially higher yields. To facilitate accessibility and adaptability, seed priming can be integrated into existing cultivation systems, commercial services, and on-farm techniques. In this review, we will highlight the essential terminology and practical aspects of seed priming.

Key words: agrotechnical method, seed germination, review, seed treatment

Súhrn

“Seed priming“ slouží jako klíčová agrotechnická metoda pro zvýšení klíčení a vitality semen a rovnoměrnosti vzházení rostlin před setím. Cílem primingu semen je aktivovat metabolické procesy a zastavit proces klíčení před dokončením. Pro přizpůsobení se různým druhům plodin a podmínkám jsou k dispozici různé metody primování semen, které nabízejí flexibilitu v zemědělských postupech. Účinnost aktivace osiva může být ovlivněna faktory, jako jsou použité taxony rostlin, kvalita osiva, zvolená metoda, doba trvání, teplota a použité chemikálie. Primování semen nabízí několik výhod, včetně zvýšené rychlosti klíčení, zlepšené uniformity vzházení, zlepšené tolerance stresu a potenciálně vyšších výnosů. Aby se usnadnila dostupnost a adaptabilita, primární výsadba osiva může být integrována do stávajících kultivačních systémů, komerčních služeb a technik na farmě. V tomto přehledu zdůrazníme základní terminologii a praktické aspekty primingu semen.

Klíčová slova: agrotechnické metody, klíčení semen, souhrn, ošetření semen

PRINCIPLES OF SEED PRIMING

Seed priming is founded on the basic skills of hydropriming, metabolism activation and pre germination wash out. Therefore, it is important that the biophysical and physiological responses of primed seed are studied in order to optimize its effectiveness by understanding these complex properties. Following imbibition, progressive water uptake of seeds has been shown to follow a complex triphasic pattern that typically involves an initial rapid absorption, followed by a plateau phase lasting for several days before increasing again when the radicle emerges /1/. The duration of the plateau is associated with additional embryo turgor generation, cell-wall loosening in embryos and weakening of tissues surrounding the embryo /1/.

Seed priming (pre-dawn irrigation) is a way to manipulate these trends - partially rehydrate the seed so that metabolic activities are engaged, and then dry it down again. Seed priming aims to take advantage of these processes by partially hydrating the seed, triggering metabolic activities, and then re-drying the seed to a storable moisture content before radicle emergence /2/.

TYPES OF SEED PRIMING

Various methods of priming have been described, these include: Hydropriming, Osmopriming, Halopriming, Biopriming, Solid Matrix Priming and Thermopriming /1-3/. Another aspect that might affect the efficiency of this phenomenon is the nature of the stimuli employed in the process. Use of complex stimulus treatment like magnetic fields, cold plasma or nanoparticles have proved beneficial to increase vigor and stress tolerance of the seeds /4,5/.

HISTORY AND DEVELOPMENT OF SEED PRIMING

Seed priming as an idea can be traced back at least to the 1970s, whereas the mechanisms driving this phenomenon have only been unraveled fairly recently /6/. Despite the fact that priming is not well understood at the molecular level, it is known that it is dependent on various factors, such as pathogen-associated molecular patterns, beneficial members of the microbiota, and even synthetic chemical compounds /6/.

The understanding of seed priming and its development can be traced to the last few decades. Although the basic processes involved in priming have been acknowledged for some time, the precise molecular mechanisms have only gradually become clearer through research /6/. While the molecular mechanism of priming has not been thoroughly described, it has been noted that this process can be promoted by a broad range of signals, including pathogen-associated molecules, beneficial microbes, and synthetic chemicals /7/.

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES DURING PRIMING

Seed priming induces a range of physiological and biochemical changes, including enzyme activation, protein synthesis, DNA repair, and enhancement of antioxidant systems /4/.

Plants can be primed for more rapid and robust activation of defence to biotic or abiotic stress. Priming follows perception of molecular patterns of microbes or plants, recognition of pathogen-derived effectors or colonisation by beneficial microbes /8/. The primed mobilization of defence is often associated with development of immunity and stress tolerance, although the molecular basis of priming is still poorly understood /6/.

FACTORS AFFECTING PRIMING

Efficiency In order to optimize priming efficiency, it is important to consider various factors such as the duration and intensity of the prime stimulus, the presence of distractions, and individual differences in cognitive processing. By carefully examining these factors, researchers can gain a better understanding of how priming affects subsequent processing and improve the overall efficiency of priming techniques. Additionally, it is essential to control for potential confounding variables, such as task difficulty and participant motivation, in order to draw accurate conclusions about the impact of priming on cognitive processing.

The efficiency of seed priming is influenced by various factors, such as plant species and variety, seed quality, priming method, duration of priming, temperature during priming, and the chemicals or biological agents used /6,7,9,10/.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGE

Seed priming offers several advantages, such as increased germination rate, improved emergence uniformity, enhanced stress tolerance, and better yields in some cases /4,9,10/. Seed priming has become an increasingly popular technique among farmers due to its ability to improve the overall health and productivity of crops.

Seed priming is a physiological process by which a plant prepares to more quickly or aggressively respond to future biotic or abiotic stress /10/. The condition of readiness achieved by priming has been termed the "primed state", and this primed state may persist as a residual effect following an initial exposure to the stress /10/. Priming can be induced in plants through various means, including the perception of molecular patterns of microbes or plants, recognition of pathogen-derived effectors, or colonization by beneficial microbes /6/. However, the process can also be initiated by treatment with some natural or synthetic compounds and wounding /6/. When primed, plants respond to very low levels of stimulus in a faster and stronger manner than unprimed plants /6/. This improved response is frequently associated with the development of local and systemic immunity, as well as enhanced stress tolerance /6/.

CONCLUSION

In recent years, the importance of seed priming as an adaptive trait for the adjustment of plant defense in unpredictable environments has become well-established /7/. Seed priming has been reported across a range of plant taxa, from wild species to cultivated varieties, and from herbaceous to woody plants /7/. One potential advantage of Seed priming is that it is proposed to be a relatively low-cost defensive measure, as defense responses are not, or only slightly and transiently, activated by the priming stimulus.

REFERENCES

- /1/ Welbaum, G. E., Bradford, K. J., Yim, K.-O., Booth, D. T., Oluoch, M. O.: Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Science Research*, 1998: 8 (2), 161-172. <https://doi.org/10.1017/S0960258500004074>
- /2/ Srivastava, L. M.: CHAPTER 19 - Seed Germination, Mobilization of Food Reserves, and Seed Dormancy. In L. M. Srivastava (Ed.), *Plant Growth and Development* (pp. 447-471). Academic Press. 2002. <https://doi.org/10.1016/B978-012660570-9/50161-1>
- /3/ Nonogaki, H.: Seed germination—The biochemical and molecular mechanisms. *Breeding Science*, 2006, 56(2): 93-105. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.56.93>
- /4/ Anand, A., Kumari, A., Thakur, M., et al.: Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds. *Scientific Reports*, 2019, 9: 8814. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45102-5>
- /5/ Nandan, R., Yadav, R. K., Singh, S. P., Singh, A. K., Singh, A. K.: Effect of seed priming with plant growth regulators on growth, biochemical changes and yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 2021, 9(1): 2922-2927. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.ilao.11673>
- /6/ Conrath, U. (2011). Molecular aspects of defence priming. *Trends in Plant Science*, 16(10), 524-531. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.06.004>
- /7/ Martinez-Medina, A., Flors, V., Heil, M., Mauch-Mani, B., Pieterse, C. M. J., Pozo, M. J., Ton, J., van Dam, N. M., Conrath, U.: Recognizing Plant Defense Priming. *Trends in Plant Science*, 2016, 21(10): 818-822. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.07.009>

- /8/ Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousefi, A. R., Baldwin, T. C., & Mastinu, A. (2022). Germination of *Triticum aestivum* L.: Effects of Soil–Seed Interaction on the Growth of Seedlings. *Soil Systems*, 6, 37. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020037>
- /9/ Conrath, U., Beckers, G. J. M., Langenbach, C. J. G., Jaskiewicz, M. R.: Priming for Enhanced Defense. *Annual Review of Phytopathology*, 2015, 53: 97-119. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120132>
- /10/ Frost, C. J., Mescher, M. C., Carlson, J. E., De Moraes, C. M.: Plant Defense Priming against Herbivores: Getting Ready for a Different Battle, *Plant Physiology*, 2008, 146(3): 818–824. <https://doi.org/10.1104/pp.107.113027>

Acknowledgement

The research was supported by the EU project NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for SR No. 09I03-03-V02-00036.

COMBINATION OF NON-THERMAL PLASMA AND ARTIFICIAL PLASMA ACTIVATED WATER AGAINST FUSARIUM GRAMINEARUM IN WHEAT

KOMBINACE ÚČINKU NETERMÁLNÍHO PLAZMATU A UMĚLE VYROBENÉ PLASMOU AKTIVOVANÉ VODY PROTI FUSARIUM GRAMINEARUM U PŠENICE

Pratik Doshi¹, Vladimír Scholtz², Alexandra Oplíštilová², Josef Khun², Myron Klenivský², Michal Šerý³, Božena Šerá¹

¹Department of Environmental Ecology and Landscape Management, Faculty of Natural Sciences, Comenius University Bratislava, Ilkovicova 6, 84215 Bratislava, Slovakia

²Department of Physics and Measurements, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28 Prague, Czech Republic

³Department of Applied Physics and Technics, Faculty of Education, University of South Bohemia, Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice, Czech Republic

Summary

Wheat grain artificially infected with *Fusarium graminearum* were treated with combination of non-thermal plasma (NTP) device and artificially prepared plasma activated water (APAW). Non-thermal plasma is found to disinfect different fungi and bacteria from the seed surface. The goal was to investigate combined treatment for their disinfection efficiency of seeds. In our study, we found that the plasma treatments in combination were successful in delaying the infection of grains by *F. graminearum*. But as the time increased, the efficiency of combined treatment decreased, thereby allowing the fungus to manifest on the seed surface. Possible reasons are discussed to understand the decrease in efficiency with increase in time is discussed.

Key words: non thermal plasma, artificial plasma activated water, Fusarium graminearum, wheat, seed disinfection

Souhrn

Obilky uměle infikované pšenice houbou *Fusarium graminearum* byla ošetřena přímým ošetřením netepelným plazmatem (NTP) a posléze uměle připravenou plazmou aktivovanou vodou (APAW). Bylo zjištěno, že netermální plazma dezinfikuje různé houby a bakterie z povrchu semen. Cílem bylo prozkoumat různá ošetření ohledně jejich dezinfekční účinnosti. V naší studii bylo zjištěno, že plazmové ošetření, jednotlivě i kombinované, bylo úspěšné při oddálení infekce semen *F. graminearum*. Ale, účinnost různých ošetření se snižovala s postupujícím časem, což umožnilo houbě projevit se na povrchu obilek. V práci jsou diskutovány možné důvody pro pochopení poklesu účinnosti s nárůstem času.

Klíčová slova: netermální plazma, umělá plazmou aktivovaná voda, Fusarium graminearum, pšenice, desinfekce semen

INTRODUCTION

Fusarium graminearum is known to be one of the most disastrous pathogens of cereal crops. It can infect and destroy high-yielding crop varieties resulting in losses in billions of dollars worldwide [1]. Additionally, it produces mycotoxins that are harmful to human health and livestock if consumed. Numerous chemical studies have been undertaken to find a solution

to this pathogen, but it has not been successful due to the rapid resistance of this pathogen to these chemicals. Therefore, researchers are looking for alternative methods to chemical control that are sustainable and environment friendly, have recently gained significant importance.

Non thermal plasma (NTP) is a partially or fully ionized gas made up of different reactive species whose temperature does not exceed 40 °C /2/. Short treatment time, easy accessibility, and low temperature during operations are some of the advantages of NTP treatment which has led to numerous applications in different fields /3/. Although success of NTP depends on the right conditions for seed exposure, any excess of exposure of seeds to NTP may also have detrimental effects on the seeds /4/.

Plasma activated water (PAW) is produced by interaction of non-thermal plasma directly on or under the water surface. The plasma interaction with water produces several short-lived and long-lived reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS), together known as reactive oxygen-nitrogen species (RONS). The short-lived reactive species immediately react in water making them difficult to measure. However, there are two long-lived species that are identified in PAW namely hydrogen peroxide (H₂O₂) and nitrates (NO₃⁻). The disadvantage of PAW is that it is time consuming, and less volume of PAW can be prepared at a give particular time. Therefore, to overcome these challenges, artificial plasma activated water (APAW) can be prepared by combining hydrogen peroxide (H₂O₂) and nitrates (NO₃⁻) in water to get similar concentration as the original PAW. In this study, our goal is to test the combined effect of a newly developed non-thermal plasma transient spark discharge apparatus in combination with APAW against *F. graminearum* disinfection from wheat grain surface under in vitro conditions.

MATERIALS AND METHODS

The methodology was like /5/ with modifications. The newly developed transient spark discharge apparatus was used for different treatment time and APAW was prepared according to the results of PAW from /5/ by adding H₂O₂ and HNO₃ to get a concentration of 250 ±15 mg/L H₂O₂ and 1210±60 mg/L of NO₃⁻ in distilled water.

One hundred and fifty wheat grains per treatment were used for each experiment, divided into 30 grains in 5 replicates. Grains were sterilized by 5% sodium hypochlorite for 30s followed by drying in the laminar air flow. Grains were then inoculated with the fungal suspension of 10⁶ spores/mL for 30 mins. The conidial solution was drained, and the grains were dried on filter paper in laminar airflow box. The following treatments were performed as in Table 1.

For infected control, the grains were infected only with *F. graminearum* conidial inoculum whereas, for negative control grains were immersed in distilled water only. The treatments were performed in the order as mentioned in the Table 1. Post-treatment the grains were places in sterile Petri dishes with 3 layer of sterile filter paper with lid and kept at 23± 0.5 °C. Surface grain infection was confirmed by eye as a visible mycelium growth.

Table 1: Summary of the order of different individual and combined treatments

Sr No	Abbreviation of treatment	Description
1	DW	wheat treated with distilled water (negative control)
2	Fus	wheat artificially infected with <i>Fusarium graminearum</i> (infected control)
3	F + NTP 1min + APAW	Grains artificially infected with <i>Fusarium graminearum</i> followed by treatment with NTP for 1 min followed by APAW for 24 h
4	F + NTP 3min + APAW	Grains artificially infected with <i>Fusarium graminearum</i> followed by treatment with NTP for 3 min followed by APAW for 24 h
5	F + NTP 5min + APAW	Grains artificially infected with <i>Fusarium graminearum</i> followed by treatment with NTP for 5 min followed by APAW for 24 h
6	F + NTP 10min + APAW	Grains artificially infected with <i>Fusarium graminearum</i> followed by treatment with NTP for 10 min followed by APAW for 24 h

RESULTS AND DISCUSSION

The combined treatment showed good disinfection property during Day 1 and Day 2 (Fig 1). From the ANOVA analysis in Table 2, a significant decrease in the *F. graminearum* infection was observed as also can be seen in Fig 1. The treatment [W + F + NTP 10min + APAW] continued to show better grain surface disinfection as compared to the other treatments. Eventually, all the treatments lost their efficacy after Day 6.

Table 2: Statistical analysis of different treatments using ANOVA.

Time	Df	Sum sq	Mean sq	F value	p value
Day 2	4	3318	829.6	14.58	0.00000995*
Day 3	4	3708	927.1	6.135	0.00217*
Day 4	4	3452	862.9	2.403	0.08
Day 5	4	1507	376.7	2.335	0.09
Day 6	4	100.4	25.11	1.046	0.408
Day 7	4	NA	NA	NA	NA

'*' shows significant difference at 95% confidence levels

This is the first instance of testing a combination of non-thermal plasma device and artificial plasma activated water against *F. graminearum* in wheat grains. The rationale behind this concept was to test whether the combined treatment has enhanced disinfection properties. A similar study by /6/ tested sequential cold atmospheric plasma and plasma activated water (PAW) against *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus flavus*. They found out similar results, but they did not perform a time-dependent analysis of the efficiency of the combined treatments. We hypothesized that perhaps, there is a degradation of reactive species in the APAW solution, which reduces their concentration. The available reactive species are therefore able to react and perhaps disinfect the *F. graminearum* conidia. But the remaining *F. graminearum* conidia on the grains surface and perhaps inside the grains, were able to grow and infect the wheat grains thereby rendering the treatments ineffective. Similar hypothesis was proposed by /5/ while testing different treatments against *F. graminearum* in Common and Durum wheat grains. In their case, they proposed that the concentration of the reactive oxygen-nitrogen species (RONS) decreases in the following order: PAW > *F. graminearum* interaction on grain surface > interaction with actual grain surface > penetration into the grain.

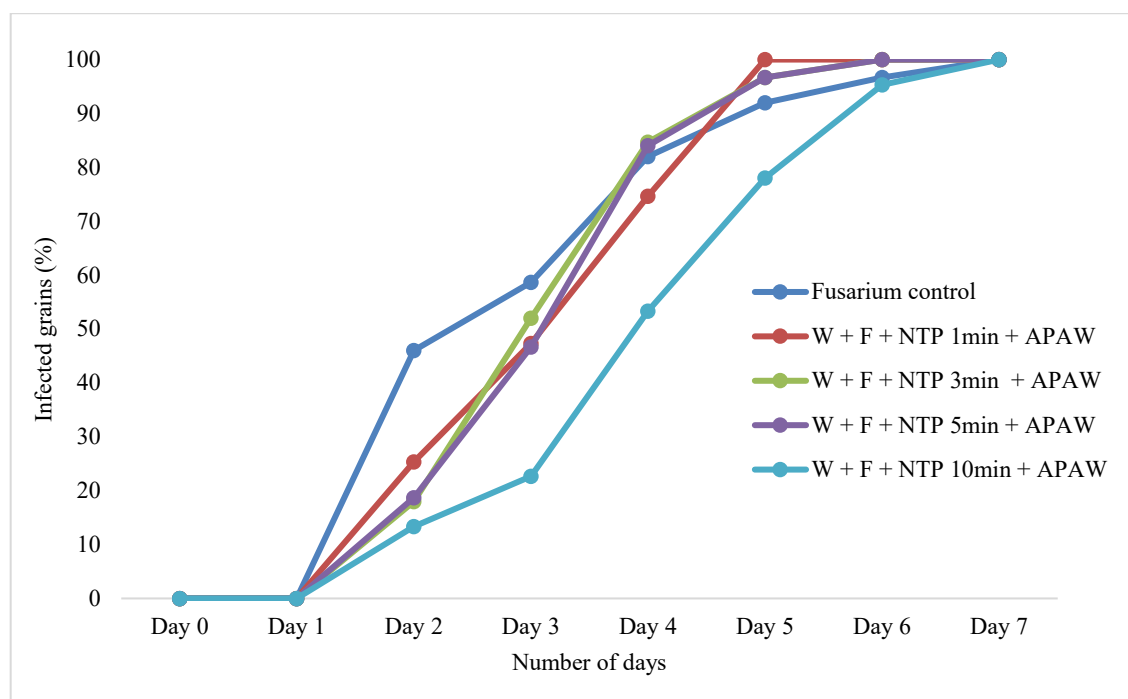


Figure 1: Efficacy of combined treatments on disinfecting wheat grains infected with *Fusarium graminearum*

CONCLUSION

Non-thermal plasma is still in an early stage. It has shown promising results, still several studies need to be performed before we see some practical applications of this technology. It needs extensive research and development with support of different stakeholders and through legal guidelines for upscaling to industrial level.

REFERENCES

- /1/ Keller, M.D., Bergstrom, G.C., Shields, E.J.: The aerobiology of *Fusarium graminearum*. *Aerobiologia*, 2014, 30: 123–136.
- 2/ Scholtz, V., Jirešová, J., Šerá, B., Julák, J.: A review of microbial decontamination of cereals by nonthermal plasma. *Foods*, 2021, 10: 2927.
- /3/ Ranieri, P., Sponcel, N., Kizer, J., Rojas-Pierce, M., Hernández, R., Gatiboni, L., Grunden, A., Stapelmann, K.: Plasma agriculture: review from the perspective of the plant and its ecosystem. *Plasma Process Polym* 2021, 18: 2000162.
- /4/ Holubová, E., Kyzek, S., Ďurovcová, I., Fabová, J., Horváthová, E., Ševčovičová, A., Gálová, E.: Nonthermal Plasma—A new green priming agent for plants? *Int J Mol Sci*, 2020, 21(24): 9466.
- /5/ Doshi, P., Scholtz, V., Oplíštilová, S., Khun, J., et al.: Effect of transient spark discharge and plasma activated water treatments against *Fusarium graminearum* infected wheat grains under laboratory conditions. *Plasma Chem Plasma Process*. 2024.
- /6/ Xu, H., Liu, C., Huang, Q.: Enhance the inactivation of fungi by the sequential use of cold atmospheric plasma and plasma-activated water: synergistic effect and mechanism study. *J Chem Eng.*, 2023, 452: 139596.

Acknowledgement

This research was funded by the Comenius University Bratislava project “Synergy Effect of Biological Control and Non-Thermal Plasma Treatment against Fusarium Head Blight in Winter Wheat”. We thank Eliška Lokajová from the Department of Physics and Measurements, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 16628 Prague, Czech Republic for preparing the *Fusarium graminearum* cultures and sub-cultures for the experiment.

BODLOPLEV HROZNATÝ MÁ SPECIFICKOU STRATEGII A SNÁŠÍ ZASOLENÍ PŮDY - PŘÍPADOVÁ STUDIE SELENEC

TRAGUS RACEMOSUS HAS A SPECIAL STRATEGY AND TOLERATES SALINITY IN THE SOIL - CASE STUDY SELENEC

Božena Šerá, Mustafa Ghulam, Pratik Doshi, Hubert Žarnovičan

Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislavě, Ilkovičova 6,
Bratislava, Slovensko, bozena.sera@uniba.sk

Summary

Tragus racemosus is a native species of Slovakia with a specific life strategy. This work provides insights into the basal architecture of the plant, its reproductive strategy and the results of the effect of various NaCl salt solutions on germination and initial growth. On the plant, a 1st order rosette can be distinguished from which the stems of the 1st order grow and the rosette of the 2nd order grow from them. The root system can grow from the rosette the 2nd order. The species was able to germinate and grow in NaCl solutions 0.12 %, 0.25 % and 0.50 %. On the other hand, NaCl concentrations of 0.99 % and 1.96 % were toxic to the seeds. The ability to germinate in the salted soil prefers *Tragus* sp. for the occurrence near of roads and highways, whose operability is maintained by brine in winter.

Key words: highway, contaminated soil, NaCl, road

Súhrn

Bodloplev hroznatý (*Tragus racemosus* (L.) All.) je ohožený druh Slovenska se specifickou životní strategií. Práce přináší poznatky o bazální architektuře rostliny, její reprodukční strategii a výsledky vliv různých roztoků soli NaCl na klíčení a počáteční růst. Na rostlině lze rozlišit růžici 1. řádu, z které vyrůstají stébla 1. řádu a na nich růžice 2. řádu se stébly 2. řádu. Ze všech růžic mohou vyrůstati fertální stébla s klasy. Růžice 2. řádu mohou zakořeňovat. Druh klíčil a rostl v roztocích NaCl 0,12 %, 0,25 % a 0,50 %. Naopak, koncentrace NaCl 0,99 % a 1,96 % byly toxické pro tyto obilky semena. Schopnost klíčit ve slané půdě preferuje bodloplev hroznatý pro výskyt poblíž silnic a dálnic, jejichž provoz je v zimě udržována solankou.

Klíčové slová: dálnice, kontaminovaná půda, NaCl, silnice

ÚVOD

Bodloplev hroznatý (*Tragus racemosus* (L.) All.) je poměrně vzácný taxon čeledi Poaceae, jehož výskyt je v posledních letech zaznamenáván především kolem silnic a dálnic /1-4/. Tento druh je původní pro jižní, západní a jihozápadní Evropu /5/ a také pro jihozápadní Asii a v Afriku /6/. Prokázaný výskyt mimo Evropu byl zaznamenán v Severní i Jižní Americe /6,7/. Bodloplev hroznatý je na Slovensku trvale zdomácněný nepůvodní druh /8/, který je v červeném seznamu vedený v kategorii téměř ohrožený druh NT /9/. Při fakultním výzkumu probíhající na trvalých plochách na mimoúrovňové křižovatce u obce Selenec (Nitranský okres) byla v roce 2021 nalezena populace bodloplevu hroznatého rostoucího v těsné blízkosti

asfaltu /10/. Od tohoto roku se jeho populace stále zvyšuje. Parciálním cílem zmíněného výzkumu je přispět k poznání o reprodukční strategii bodloplevu hroznatého a na jeho vazby na zasolené substráty kolem silnice a na těžké kovy v půdě. Tento příspěvek se zaměřuje na stanovení reprodukční kapacity bodloplevu hroznatého a na schopnost jeho obilek klíčit v podmínkách stresu způsobeného solí (NaCl).

MATERIÁL A METODA

Rostliny a plody (obilky) bodloplevu hroznatého byly sklizeny na podzim roku 2023 na mimoúrovňové křižovatce u obce Selenec (východně od města Nitra, souřadnice: 48°18'35.1"N, 18°08'24.5"E). Konduktivita povrchové vrstvy půdy (5 - 10 cm) v místě výskytu bodloplevu hroznatého byla $3,3 \pm 0,5$ mScm⁻¹. Stručná charakteristika lokality je uvedena v práci /10/. Sklizeno bylo 10 náhodně vybraných jedinců, u každého z nich byl změřen průměr růžice, bylo zaevidováno rozvětvení rostliny, počet klasů a u 3 náhodně vybraných klasů byl určen počet plodů. Z těchto údajů byly spočítány tyto průměrné hodnoty (průměr SD): průměr růžice, počet hlavních větví, počet vedlejších větví, počet všech větví a také počet klasů a plodů na jednu rostlinu.

Plody pro test klíčivosti pod stresem solí NaCl byly získány z náhodně vybraných jedinců v počtu min. 2000 plodů. Roztoky NaCl byly připraveny za použití destilované H₂O s těmito koncentracemi: K (kontrola) – 0 %, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %. Na založení pokusu byl použita plastová Petriho miska (9 cm průměr), vždy se 3 filtračními papíry, 6 ml roztoku a 30 semen. Každá varianta se 5x opakovala; na jednu variantu (K, A-E) bylo použito 5 Petriho misek a 150 plodů. Semena klíčila v kultivačním boxu (tma, teplota 25 °C) po dobu 7 dnů. Každý den byl měřen počet vyklíčených semen, test byl zakončen 7. den kultivace, stanovena byla klíčivost semen pro jednotlivé varianty /11/. Získaná data o klíčivosti byla zpracována ve statistickém programu R. Použita byla jednocestná analýza variance (ANOVA) a následně Tukey test pro porovnání jednotlivých ošetření mezi sebou. Statistické výpočty byly prováděny při $\alpha < 0,5$.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Na rostlině lze rozlišit růžici 1. řádu, z které vyrůstají stébla 1. řádu a na nich růžice 2. řádu se stébly 2. řádu. Rostliny mají schopnost vegetativního rozrůstání, protože z růžice 1. řádu vyrůstají stébla 1. řádu s růžicemi 2. řádu, které mohou zakořenit (Obr. 1). Bylo zjištěno, že jedna rostlina má v průměr růžice $31,3 \pm 5,6$ cm, počet stébel 1. řádu $13,0 \pm 2,5$, počet stébel 2. řádu $24,4 \pm 12,7$, počet plodných stébel $6,5 \pm 1,7$. Ze všech růžic mohou vyrůst fertlní stébla s klasy. Počet obilek na jeden klas byl stanoven na $42,0 \pm 18,2$ a každá plodné stéblo bylo zakončené 3 ± 1 klasy. Reprodukční kapacita rostliny (počet semen na jednu rostlinu) byla stanovena na 819 ± 42 .

Statisticky významné rozdíly ($P < 0,5$) byly zaznamenány v klíčivosti semen mezi variantami, a to v každý den kultivace. První den klíčení byl zaznamenán strat klíčení u všech sledovaných setů mimo semena ošetřená 1,96% roztokem NaCl. Semena ošetřená 1,96 % NaCl nevyklíčila po dobu pokusu (7 dnů) a vizuálně bylo patrné, že jsou mrtvá. Set semen, který byl ošetřen 0,99 % NaCl vykazoval velmi nízkou klíčivost, která byla na konci pokusu 20 %. Sety semen ošetřené koncentracemi 0,12 %, 0,25 % a 0,50 % klíčily v porovnání s kontrolou hůře (signifikantní rozdíl nezaznamenán) a vizuálně bylo patrné, že semenáčky jsou vitální. Nejvyšší

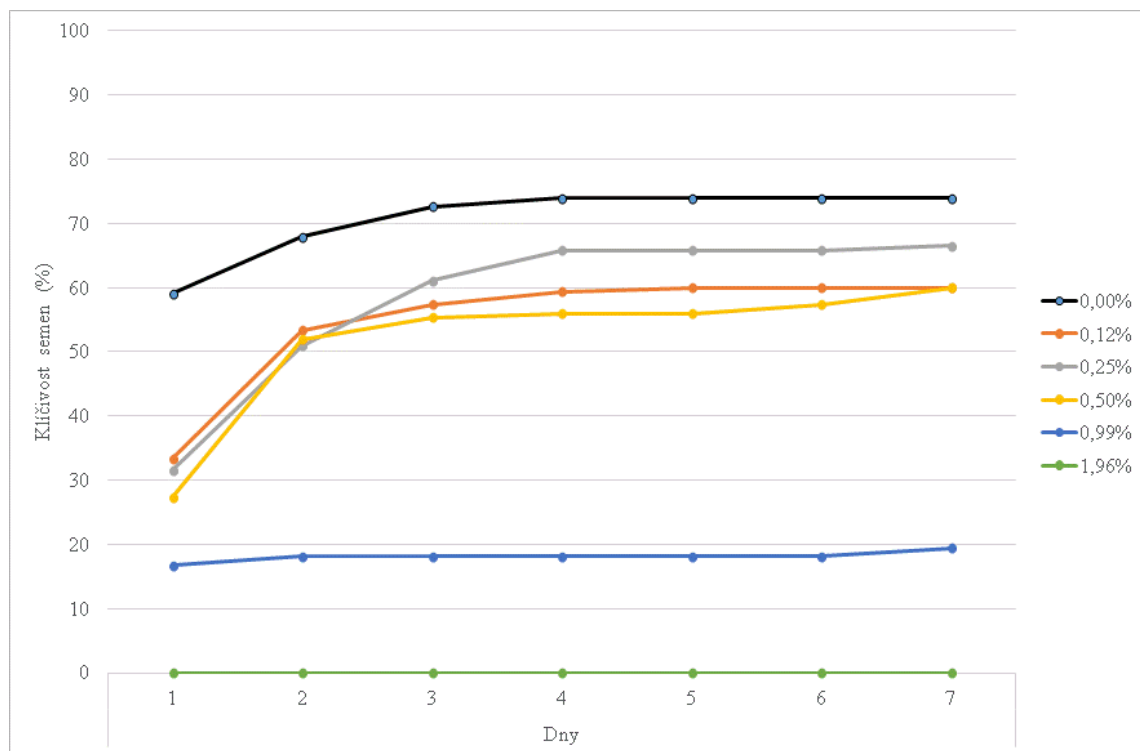
klíčivost byla zaznamenána u semen, která nebyla ošetřena roztokem NaCl (koncentrace 0 %, kontrolní set), kde se od čtvrtého dne již neměnila a byla na hodnotě 74 %. Rostoucí obilky bodloplevu hroznatého jsou zachyceny na Obr. 1, průběh klíčení semen je znázorněn na Obr. 2.



Obr. 1: Bodloplev hroznatý (*Tragus racemosus*), A – rostoucí obilky, B – architektura rostliny (1B1 – růžice 1. řádu, 1B2 - kořenový systém růžice 1. řádu, 1B3 - stéblo 1. řádu, 1B4 - růžice 2. řádu, 1B5 - kořenový systém růžice 2. řádu, 1B6 - stéblo 2. řádu), C – pohled do porostu s dominancí bodloplevu hroznatého, D – doprava může napomoci šíření rostliny jako „stepního běžce“ (šipky naznačují možný pohyb suchých rostlin ve směru jízdy automobilu).

Populace bodloplevu hroznatého je evidována na stanovišti od roku 2021 (cca 20 jedinců), v roce 2022 čítala populace cca 130 jedinců /10/. V roce 2023 zaujímala populace prostor s rozlohou cca 1,5 m x 25 m, měla 70 % pokryvnost a rostlo tam cca 200 jedinců. K úspěšnému rozrůstání populace pravděpodobně přispívá vysoká reprodukční kapacita rostliny (819 ± 42 semen/rostlina), schopnost vegetativního rozrůstání do prostoru (včetně kořenění růžic 2. řádu (Obr. 1)).

V podzimním období, kdy tato jednoletá rostlina ukončuje svůj životní cyklus, byl pozorován efekt „stepního běžce“. Suché nadzemní části několika rostlin se díky zvěřenému vzduchu od projíždějících aut pohybovaly po silnici a v těsné blízkosti asfaltu. Pohyb aut pravděpodobně napomáhá přemístit nadzemní části (i se zralými obilkami) ve směru jízdy automobilu dál od původní populace. Tak provoz na silnici může napomoci šíření toho druhu kolem silnic a dálnic.



Obr. 2: Dynamický průběh klíčivosti semen bodloplevu hroznatého (*Tragus racemosus*) pod stresem různými koncentracemi NaCl.

ZÁVĚR

Ekologická strategie sledovaného druhu bodloplev hroznatý rostoucího na mimoúrovňové křižovatce u obce Selenec pravděpodobně závisí na vysoké produkci obilek, schopnosti žít na zasolených půdách a schopnosti pasivního přenosu obilek od stávající populace.

LITERATURA

- /1/ Eliáš, P.: Tribulo-Tragetum a Hibisco-Eragrostietum na Slovensku. *Biológia* (Bratislava), 1982, 37: 99–101.
- /2/ Baláž, D.: *Tragus racemosus* (L.) All. na Devínskej Kobyle. *Bull. Slov. Bot. Spol.*, Bratislava, 1995, 17: 91–92.
- /3/ Kocián, P., Ducháček, M., Kúr, P.: Bodloplev hroznatý (*Tragus racemosus*) na dálnicích České republiky. *Zpráva Čes. Bot. Společ.*, Praha, 2018, 53: 1–9.
- /4/ Kaplan, Z. a kol.: Klíč ke květeně České republiky. Praha: Academia, 2019.
- /5/ Tutin, I. G. a kol.: *Flora Europaea*. Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- /6/ Anton A. M.: The genus *Tragus* (Gramineae). – *Kew Bull.*, 1981, 36: 55–61.
- /7/ Reeder, J. R., Reeder, C.: *Tragus racemosus* in Arizona. *Madroño*, 1978, 25 (2): 107–108.
- /8/ Marhold, K., Hindák, F.: *Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska*. Veda, Bratislava, 1998.
- /9/ Eliáš, P. jun., Dítě, D., Kliment, J., Hrivnák, R., Feráková, V.: Red list of ferns and flowering plants of Slovakia, 5th edition. *Biológia* (Bratislava), 2015, 70: 218–228.
- /10/ Šerá, B., Žarnovičan, H.: Bodloplev hroznatý podél okraje silnice - případová studie Selenec. Sborník z konference 3. – 14. 9. 2023, Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Praha, 2023: 177–178.
- /11/ Šerá, B.: Methodological contribution on seed germination and seedling initial growth tests in wild plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2023, 51(2): 13164.

Poděkování

Výzkum byl finančně podpořený národním projektem VEGA 1/0255/23, projektem EÚ NextGenerationEU prostřednictvím Plánu obnovy a odolnosti pro SR č. 09I03-03-V02-00036 a také firmou GRANVIA a.s.

VPLYV SOĽNÉHO STRESU NA *AMORPHA FRUTICOSA* L. (PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA LUČENEC, SLOVENSKO)

THE EFFECT OF WATER SALINITY STRESS ON AMORPHA FRUTICOSA L. (CASE STUDY LUČENEC, SLOVAKIA)

Hubert Žarnovičan, Božena Šerá, Júlia Gatialová

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

Summary

Experimentally, we determined the germination ability of *A. fruticosa* L. seeds with and without pericarp in NaCl solutions (w(NaCl) = 0.12%; 0.25%; 0.50%; 0.99%; 1.96%) and in a control solution (w(NaCl) = 0%). Seeds germination with pericarp occurred more slowly than seeds germination without pericarp. For seeds with pericarp, solutions with w(NaCl) = 0.99% and 1.96% were unsuitable, and for seeds without pericarp, solution with w(NaCl) = 1.96% was unsuitable. The level of NaCl contamination in the environment was a limiting factor for the growth of seedlings. The growth of seedlings from seeds with pericarp was zero at w(NaCl) = 0.99% and 1.96%, and for seeds without pericarp at w(NaCl) = 1.96%. *A. fruticosa* is tolerant to an increase NaCl content in the solution.

Key words: roads, halophyte, invasive species, salinity, neophyte

Súhrn

Experimentálne sme stanovili schopnosť klíčenia semien *A. fruticosa* L. s plodovými obalmi a bez plodových obalov v roztokoch NaCl (w(NaCl) = 0,12%; 0,25%; 0,50%; 0,99%; 1,96%) a kontrolnom (w(NaCl) = 0%). Klíčenie semien s plodovými obalmi prebiehalo pomalšie ako semien bez plodových obalov. Pre klíčenie semien s plodovými obalmi bol nevyhovujúci roztok s w(NaCl) = 0,99% a 1,96%, pre semená bez plodových obalov s w(NaCl) = 1,96%. Miera kontaminácie prostredia NaCl bola limitujúcim faktorom aj pre rast klíčkov. Rast klíčkov semien s plodovými obalmi bol rovný nule pri w(NaCl) = 0,99% a 1,96%, u semien bez obalov s w(NaCl) = 1,96%. *A. fruticosa* je tolerantná voči zvýšenému obsahu NaCl v roztoku.

Kľúčové slová: cesty, halofyt, invázny druh, zasolenie, neofyt

ÚVOD

Beztvarec krovitý (*Amorpha fruticosa* L.) je ker z čeľade Fabaceae, pochádzajúci zo Severnej Ameriky /1/. Ide o hlboko koreniaci ker, schopný odvádzať vodu z hlbších vrstiev pôdy /2/. Tým zvyšuje stabilitu svahov a znižuje riziko pôdnych zosuvov /3/. Vďaka uvedeným vlastnostiam sa dlhodobo používa vo výsadbách na okrajoch ciest a cestných násypoch /4–7/. Druh je známy svojou širokou ekologickou amplitúdou a toleranciou voči emisiám z dopravy

a zasoleniu /8–10/. V súvislosti so zasolením pôd okrajov ciest sme laboratórne stanovovali mieru tolerancie *A. fruticosa* na zvýšený obsah chloridu sodného v roztoku.

MATERIÁL A METÓDY

Zber plodov *A. fruticosa* prebiehal po dozretí semien v intraviláne mesta Lučenec, na svahu pri cestnej komunikácii (N 48°20'04,33", E 19°38'42,58"), v septembri roku 2023. Z náhodne vybraných troch jedincov sme odobrali plody, ktoré sme usušili pri izbovej teplote. Vytvorili sme zmesnú vzorku plodov (semená s plodovými obalmi), z ktorej sme vyradili plody poškodené mechanicky alebo škodcami. Jedna polovica plodov (viac ako 1000 ks) bola zbavená oplodia. Tým sme získali aj zmesnú vzorku semien bez plodových obalov.

Experiment sme zakladali rovnakým spôsobom dvakrát – osobitne pre semená *A. fruticosa* s plodovými obalmi a bez nich. Postup experimentu bol v oboch prípadoch rovnaký. Na založenie experimentu sme použili 30 Petriho misiek vždy s jedným filtračným papierom. Každá miska obsahovala 30 semien s plodovými obalmi/semien bez plodových obalov, tzn. 900 semien pre každý experiment. Semená sme rozmiestnili podľa schémy 3, 5, 7, 7, 5, 3, s označením semena, od ktorého sme začali merania. Do každej misky sme pridali 6 ml roztoku NaCl. Hodnoty hmotnostných zlomkov roztokov NaCl boli: K (kontrola) – 0%, A – 0,12%, B – 0,25%, C 0,50%, D – 0,99%, E – 1,960%. Roztok NaCl sme pridali len jeden krát počas trvania experimentu. Po dobu klíčenia sme podľa potreby semená zalievali definovaným objemom destilovanej vody tak, aby nevyschli. Petriho misky sme skladovali v tme, v termostate pri stálej teplote 22 °C. Semená napadnuté počas trvania experimentu plesňou sme z Petriho misiek odstránili.

Každý deň od založenia experimentu prebiehala kontrola klíčenia. Dĺžku klíčkov sme merali vždy pre konkrétne semeno. Počet klíčiacych semien bez obalov sme zaznamenávali počas 6 dní, v prípade semien s obalmi 11 dní.

Získané dáta boli spracované v štatistickom programe STATISTIKA /11/. Použitá bola jednocestná analýza variancie (ANOVA) a následne Duncanov test pre porovnanie jednotlivých ošetrení medzi sebou. Štatistické výpočty prebehli pri hladine významnosti $\alpha < 0,5$.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Ani 11. deň od založenia experimentu nedosiahol počet semien s obalmi počet klíčiacych semien bez obalov zaznamenaný už 2. deň experimentu (tab. 1, 2). Počet klíčiacych semien s obalmi bol aj 11. deň od založenia experimentu nízky. V roztokoch s $w(\text{NaCl}) = 0,99$ a 1,96% sme klíčenie nezaznamenali (tab. 1). Najpočetnejšie klíčenie semien s plodovými obalmi bolo zaznamenané pri kontrolnom variante (tab. 1).

Počet klíčiacych semien bez plodových obalov bol na 6. deň experimentu blízky nule len pri $w(\text{NaCl}) = 1,96\%$. Najvyšší počet klíčiacych semien bol pozorovaný pri kontrolnom variante a variantoch s $w(\text{NaCl}) = 0,25\%$ a 0,99% (tab. 2).

Výsledky ukazujú, že semená s plodovými obalmi tolerovali zasolenie roztoku horšie ako semená bez plodových obalov. Tento stav ale nemožno jednoznačne pripísať vplyvu zasolenia roztoku, ale aj mechanickej ochrane plodových obalov, ktoré obmedzujú klíčenie semien. Pozitívny vplyv skarifikácie na klíčenie semien *A. fruticosa* potvrdili Đukić et al. /12/.

Tabuľka 1: Priemerný počet klíčiacych semien *A. fruticosa* s plodovými obalmi

Ošetrenie/deň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K	0,00	0,00	0,03	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,33	0,40	0,52
A	0,01	0,04	0,07	0,09	0,11	0,16	0,18	0,21	0,25	0,29	0,33
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05
C	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,11	0,14	0,18	0,28	0,39
D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabuľka 2: Priemerný počet klíčiacych semien *A. fruticosa* bez plodových obalov

Ošetrenie/deň	1	2	3	4	5	6
K	1,00	1,40	2,00	2,20	2,20	2,40
A	1,40	2,20	2,80	3,00	2,40	2,40
B	1,80	3,20	3,60	3,80	4,00	4,40
C	0,00	1,60	1,80	1,60	2,00	2,20
D	0,60	2,40	3,40	3,80	4,20	4,00
E	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20

Výsledky ukazujú, že semená s plodovými obalmi tolerovali zasolenie roztoku horšie ako semená bez plodových obalov. Tento stav ale nemožno jednoznačne pripísať vplyvu zasolenia roztoku, ale aj mechanickej ochrane plodových obalov, ktoré obmedzujú klíčenie semien. Pozitívny vplyv skarifikácie na klíčenie semien *A. fruticosa* potvrdili Đukić et al. /12/.

Rast klíčkov semien s plodovými obalmi bol veľmi nízky, s najvyššou intenzitou v kontrolnom variante. Rast klíčkov nebol pozorovaný v roztokoch s $w(\text{NaCl}) = 0,99\%$ a $1,96\%$ (tab. 3). Rast klíčkov semien bez plodových obalov bol najvyšší pri $w(\text{NaCl})$ do $0,50\%$. Naopak, len minimálny rast bol zaznamenaný pri $w(\text{NaCl}) = 1,96\%$ (tab. 4).

Tabuľka 3: Priemerné dĺžky klíčkov semien *A. fruticosa* s plodovými obalmi [mm]

Ošetrenie/deň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
A	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabuľka 4: Priemerné dĺžky klíčkov semien *A. fruticosa* bez plodových obalov [mm]

Ošetrenie/deň	1	2	3	4	5	6
K	0,03	0,14	0,33	0,53	0,74	1,12
A	0,07	0,19	0,44	0,54	0,72	1,02
B	0,09	0,32	0,75	1,04	1,36	1,89
C	0,00	0,07	0,15	0,19	0,27	0,43
D	0,02	0,14	0,32	0,53	0,63	0,85
E	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

Zo získaných dát boli vyhodnotené rozdiely v meraných charakteristikách jednotlivých variantov (A – E) a kontroly (K). V počte klíčiacych semien s plodovými obalmi a bez plodových obalov neboli zistené signifikantné rozdiely ($P < 0,5$). V prípade dĺžky klíčkov bol zaznamenaný významný rozdiel medzi variantom E (0,01 mm) a kontrolou K (1,12 mm) (tab. 4).

Zvýšenou toleranciu *A. fruticosa* voči environmentálnym stresom dokumentujú viacerí autori /9, 13/. Naše zistenia korešponujú s výsledkami prác Đukić et al. /12/ a Guo et al. /14/, podľa ktorých ide o fakultatívny halofyt odolný voči zasoleniu. Tolerancia voči zasoleniu umožňuje jeho využitie pri výsadbách v blízkosti cestných komunikácií, zalesňovaní a rekultiváciách zasolených pôd /12, 15/.

ZÁVER

Nástup klíčenia semien s plodovými obalmi bol v porovnaní so semenami bez obalov výrazne spomalený. Obsah chloridu sodného v roztoku pri $w(\text{NaCl}) = 0,12\% - 0,50\%$ nebol pre semená s plodovými obalmi fatálny. Pre semená bez plodových obalov nebol fatálny pri $w(\text{NaCl}) = 0,12\% - 0,99\%$. Miera kontaminácie prostredia NaCl bola limitujúcim faktorom aj pre rast klíčkov. *A. fruticosa* je tolerantná voči zvýšenému obsahu NaCl v roztoku.

LITERATÚRA

- /1/ POWO: Plants of the world online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew, 2023. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
- /2/ Wang, J-h, Li, X-t, Liu, X-d, Wang, F., Liu, Y.: Root structure of slope protection plants in a high-grade highway. *Journal of Forestry Research*, 22(2), 2011: 311–313.
- /3/ Li, Y., Zhou, H., Zuo, H., Wang, Q., Xing, Y., Yan, G.: Root system traits and mechanical properties of three shrub species: Implications for the structural stability of the ecological slope. *International Journal of Engineering*, 35(2), 2022: 291–299.
- /4/ Yang, Y., Yang, J., Zhao, T., Huang, X., Zhao, P.: (2016) Ecological restoration of highway slope by covering with straw-matand seeding with grass–legume mixture. *Ecological Engineering*, 90, 2016: 68 – 7
- /5/ Cao, W., Omran, B.A., Lei, Y., Yhao, X., Yang, X., Chen, Q., Tian, G.: Studying early stage slope protection effects of vegetation communities for Xinnan Highway in China. *Ecological Engineering*, 110, 2018: 87–98.
- /6/ Kolyada, N.A., Kolyada, S.A.: Occurrence of *Amorpha fruticosa* L. in the South of the Russian Far East. *Russian Journal of Biological Invasions*, 9(1), 2018: 53–56.
- /7/ Mareda, P. jun, Čejka, T., Čiampor, F., Hrivnák, R., Kalivodová, M., Kanka, R., Májeková, M., Pekárik, L., Skokanová, K., Šingliarová, B., Šibík, J., Vlachovičová, M.: Identifikácia a podrobná analýza prienikových ciest introdukcie a neúmyselného šírenia invázných nepôvodných druhov na územie Slovenskej republiky a na územie EÚ cez územie Slovenskej republiky (Záverčná správa pre dielo 1) Centrum biológie rastlín a biodiverzity, Slovenská akadémia vied, Bratislava, 2021: 335 pp.
- /8/ Li, S., Tian, J., Yang, Z., Sun, W., Zhang, X.: Analysis on resistance of expressway slope vegetation to vehicle emissions in Northeast China. In: Fang, F.C., Wei, H., Wang, Y., Zhang, J. (eds): *Proceedings of the 12th International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2012)*. Beijing, China, August 3-6, 2012. Chinese Overseas Transportation Association (COTA), Beihang University, Research Institute of Highway at China Ministry of Transport Beijing, China, 2012: 2881–2888.
- /9/ Mitrović, M., Jarić, S., Kostić, O., Gajić, G., Karadžić, B., Djurjević, L., Oberan, L., Pavlović, D., Pavlović, M., Pavlović, P.: Photosynthetic efficiency of four woody species growing on fly ash deposits of a Serbian ‘Nikola Tesla - A’ Thermoelectric Plant. *Polish journal of environmental studies*, 21(5), 2012: 1339–1347.
- /10/ Chytrý, M., Tichý, L., Dřevojan, P., Sádlo, J., Zelený, D.: (2018) Ellenberg-type indicator values for the Czech flora. *Preslia*, 90, 2018: 83–103.
- /11/ StatSoft Inc: *Electronic statistics textbook*. Statsoft, Tulsa, 2013. <http://www.statsoft.com/text-24book/stahme.html>
- /12/ Đukić, M., Đunisijević Bojović, D., Grbić, M., Skočajić, D., Lakićević, M. 2010: Influence of NaCl and scarification on false indigo bush seed germination. *Acta Herbológica* 9: 71–80.
- /13/ Sun, X., Hu, S., Wang, X., Liu, H., Zhou, Y., Guan, Q.: De novo assembly of *Amorpha fruticosa* L. transcriptome in response to drought stress provides insight into the tolerance mechanism. *PeerJ*, 9(2), 2021: 11044.
- /14/ Guo, X., Ren, X.H., Eller, F., Li, M.Y., Wang, R.Q., Du, N., Gou, W.H.: Higher phenotypic plasticity does not confer higher salt resistance to *Robinia pseudoacacia* than *Amorpha fruticosa*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 2018: 79.
- /15/ Liu, T., Cao, Y., Zhang, Y., Wang, R., Xiao, H., Wang, B., Si, L.: Soil environment and growth adaptation strategies of *Amorpha fruticosa* as affected by mulching in a moderately saline wasteland. *Land Degradation & Development*, 31, 2020: 2672–2683.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla s finančnou podporou projektu VEGA č. 1/0255/23.

GENOTYPOVÉ ROZDÍLY OSMOTICKY AKTIVNÍCH LÁTEK U TŘEŠNÍ V POLNÍCH PODMÍNKÁCH

FORESTRY AND ECOLOGICAL RESEARCH IN THE TATRA MTS.: CLIMATE TRENDS, WEATHER MEASUREMENTS AND INCREMENT OF FOREST TREES

Zuzana Kovalíková, Jaromír Janoušek, Jiří Tůma

Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Katedra biologie, Rokytanského 62,
500 03 Hradec Králové, zuzana.kovalikova@uhk.cz

Summary

During the growing season 2022, six cherry varieties in natural orchard plantings (Amid, Early Korvik, Jacinta, Justyna, Kordia, Regina) were evaluated for the dynamics of the accumulation of osmotically active substances proline, sugars and organic acids. Significant periods of drought were recorded during the season, which was also reflected in the metabolism of the monitored trees. Simultaneously with the prolonged drought towards the end of the season, the concentration of monitored sugars (glucose, fructose, raffinose and stachyose) and the sugar alcohol sorbitol also increased. In the case of organic acids, there was an increase in succinic, malic and citric acids, on the contrary, a decrease was recorded in ascorbic, tartaric and fumaric acids. In tolerant genotypes (Amid, Early Korvik and Regina), there was more significant increase in sugars, while the increase in organic acids was not so significant compared to the sensitive genotypes (Jacinta, Justyna and Kordia).

Key words: cherry, Prunus avium, prolin, sugars, organic acids, water stress

Souhrn

V průběhu vegetační sezony 2022 byla u šesti odrůd třešní (Amid, Early Korvik, Jacinta, Justyna, Kordia, Regina) v přirozené sadové výsadbě hodnocena dynamika akumulace osmoticky aktivních látek prolinu, cukrů a organických kyselin. Během sezony byly zaznamenány výrazní období sucha, což se projevilo i v metabolismu sledovaných stromů. Současně s déletrvajícím suchem ke konci sezóny rostla i koncentrace sledovaných cukrů (glukózy, fruktózy, rafinózy a stachyózy) a cukerného alkoholu sorbitolu. U organických kyselin došlo k nárůstu kyseliny jantarové, jablečné a citrónové, naopak pokles byl zaznamenán u kyseliny askorbové, vinné a fumarové. U tolerantních genotypů (Amid, Early Korvik a Regina) došlo k výraznějšímu nárůstu cukrů, naopak přírůstek organických kyselin nebyl tak výrazný ve srovnání s citlivými genotypy (Jacinta, Justyna a Kordia).

Klíčová slova: třešně, Prunus avium, prolin, cukry, organické kyseliny, vodní stres

ÚVOD

Sucho je v současné době velmi vážným agronomickým problémem v celé Evropě. Klimatické modely předpovídají nárůst průměrných teplot, úbytek srážek, jejich nerovnoměrné rozložení a častější výskyt období sucha. To bude mít za následek nižší dostupnost závlahové vody pro trvale ovocné kultury. Třešně patří mezi hlavní ovocné plodiny v tuzemském sektoru.

V roce 2023 bylo v České republice evidováno 701 ha komerčních výsad. Na produkci se třešni odráží častější suché počasí v období květu a nalévání plodu [1/.

Reakce rostlin na nedostatek vody představuje složitý jev, který zahrnuje reakce na buněčné úrovni, ale i na úrovni celého organismu. Obecně způsobuje vodní deficit širokou škálu morfologických, fyziologických (např. změny v intenzitě fotosyntézy, vodivosti průduchů, transpirace aj.) a biochemických změn (vznik a odstraňování reaktivních forem kyslíku či syntéza stresových hormonů), které jsou klíčové pro zmírnění negativního vlivu vzniklé osmotické nerovnováhy [2/]. Jedním ze známých mechanismů, jsou osmotické úpravy, které jsou důležité pro udržení buněčného turgoru a metabolické aktivity rostlin. Rostliny syntetizují různé osmoticky protektivní látky, jako je například prolin, rozpustné cukry nebo organické kyseliny, aby nastolily osmotickou rovnováhu na buněčné úrovni [3,4/], což bylo potvrzeno i v našich studiích [5,6/.

Modifikace v životních cyklech, morfologické a anatomické stavbě či fyziologii umožňují rostlinám adaptovat se a přežít nepříznivé podmínky. Vedle genetické predispozice rostliny (mezidruhové nebo vnitrodruhové, genotypové rozdíly) svou roli také hraje kdy (vývojová fáze), kde (část rostliny) a jako dlouho daný stresor působí. Proto cílem výzkumu bylo zhodnotit odpověď vybraných genotypů třešni pěstovaných v přirozených podmínkách sadu v průběhu vegetační sezóny v závislosti na působení vnějších faktorů, především počasí.

MATERIÁL A METODY

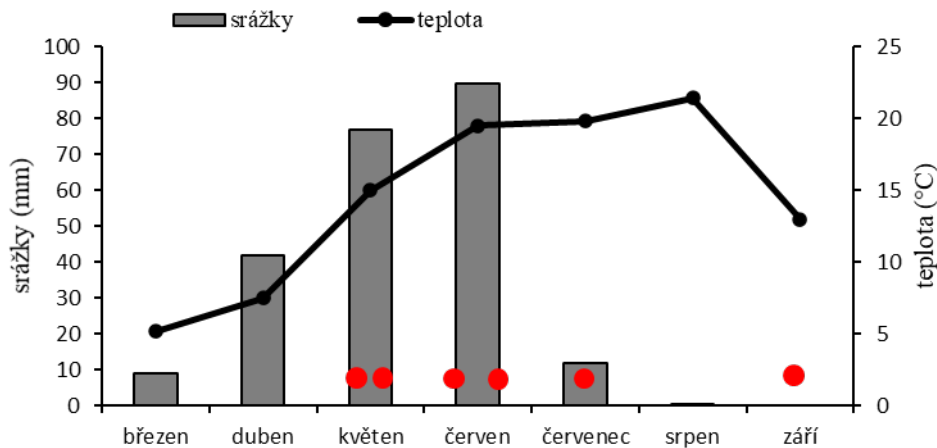
Rostlinný materiál byl odebírán v sadech VŠÚO Holovousy (50.37608 N, 15.581343 S). Pro hodnocení bylo vybráno 6 odrůd třešni (*Prunus avium*). Výběr byl proveden tak, aby byly prezentovány hlavní produkční genotypy v ČR (Kordia, Regina) a perspektivní české šlechtění (Amid, Early Korvik, Jacinta, Justyna). Hodnocení probíhalo v roce 2022 a od každé odrůdy byly sledovány alespoň 3 stromy. Stromy byly vysázeny ve sponu 5 x 1,5 m, bez doplňkové závlahy a ošetřovány konvenčními agrotechnologickými postupy. Odběr listů proběhl v šesti konkrétních fenologických fázích – BBCH65, 71, 75, 85, 89 a 92. Z každého stromu byly odebrány tři listy z různé části stromu a vytvořeny směsné vzorky z důvodu zamezení variability mezi stromy. Údaje o počasí ve vybraných měsících byly zpracovány na základě dat z meteostanice U Vojáka, Holovousy (dostupné online na <http://data.ala1.com/>) a jsou vyobrazeny v grafu 1.

Ze sledovaných osmoticky aktivních látek byl hodnocen obsah prolinu, rozpustných cukrů a cukerných alkoholů [7/ a organických kyselin.

Data byla zpracovaná pomocí GraphPad Prism 9 (LLC, San Diego, CA, USA) s využitím jednorozměrné analýzy variance (Anova) a Tukeyho testu na hladině významnosti $p < 0,05$.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z analýzy klimatických podmínek vyplývá, že rok 2022 byl teplotně průměrný, s průměrnou teplotou 10,1 °C. Maximální denní teploty se pohybovali v období července a srpna, kdy dochází ke zrání pozdních odrůd, resp. vybarvování listů. Roční úhrn srážek byl 513,6 mm. Nízký úhrn srážek byl zaznamenán v 1. polovině května, pak od 2. poloviny července do konce září. Největší úhrn srážek byl zaznamenán v červnu. Významná událost představovala silná věterná smršť před druhým květnovým odběrem, která vedla místy k poškození porostu, který byl poté mechanicky ostříhán.

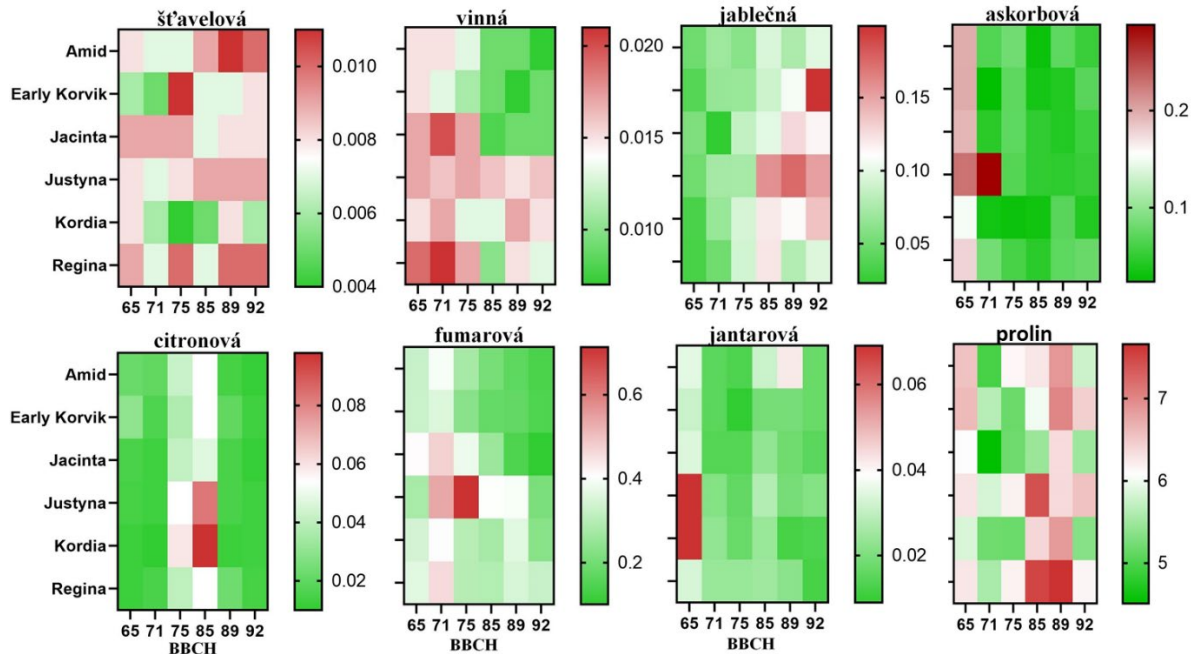


Graf 1: Průměrné měsíční teploty a srážky v roce 2022. Červené tečky představují data odběru vzorků.

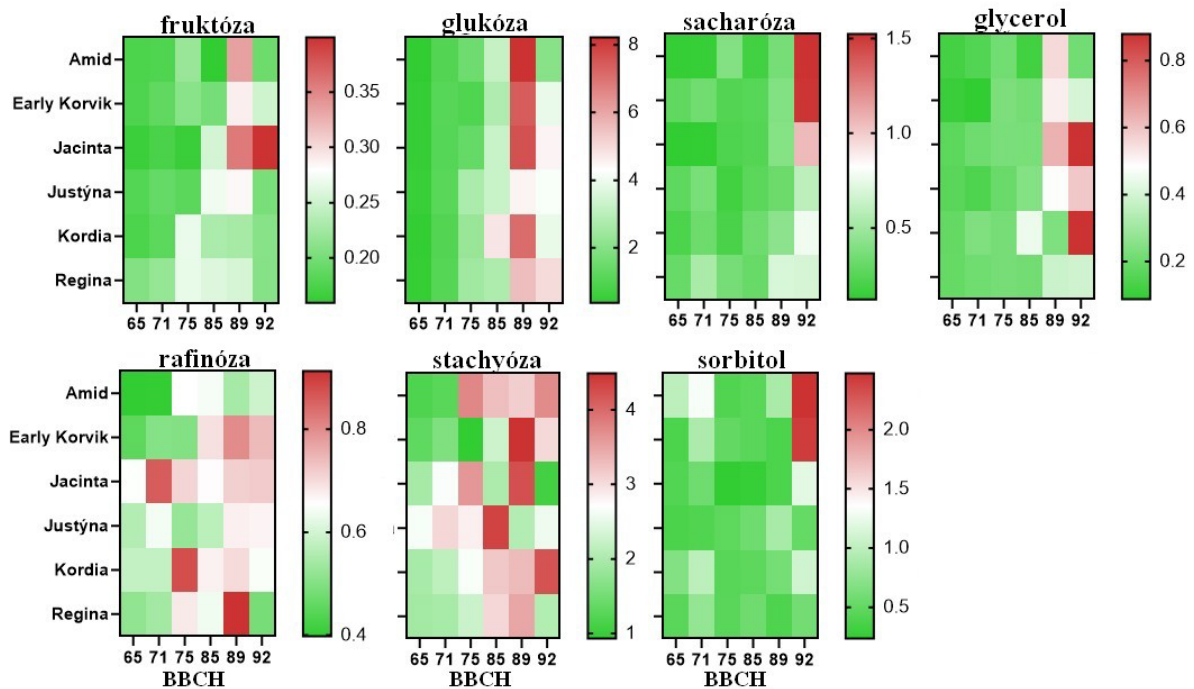
V průběhu vegetační sezóny dochází k různé míře syntézy metabolitů, které odráží aktuální potřeby rostliny v dané vývojové fázi. Tyto pochody ale mohou být narušeny proměnlivými environmentálními podmínkami, kdy dochází spíše ke zvýšené produkci metabolitů podílejících se na obranných procesech rostliny. Jednou z možných odpovědí je zvýšená akumulace osmoticky aktivních látek, které napomáhají udržet potřebný buněčný turgor. Prolin díky svým vlastnostem (účinný antioxidant, signální molekula, osmolytikum) sehrává klíčovou roli v odpovědi rostlin na vnější environmentální faktory. Obsah prolinu (graf 2) byl na začátku sezóny poměrně vysoký, poté byl patrný pokles u všech genotypů. Výrazný nárůst byl poté zaznamenán u BBCH 85 a 89 (zrání ovoce), kterým předcházelo suché a teplé počasí. Dle literatury se předpokládá, že genotypy s vyšším obsahem prolinu mohou být odolnější vůči stresovým podmínkám. Také rychlost biosyntézy prolinu může sehrávat významnou roli v jeho rychlé akumulaci a tím i zvýšené rezistenci /8,9/. Ve stresových obdobích byly nejvyšší hodnoty u tolerantních genotypů Amid, Early Korvik a Regina.

Krebsův cyklus je jedním z nejdůležitějších buněčných cyklů, který dodává buňce energii a také uhlíkový skelet pro syntézu některých aminokyselin. Obecně je během zvýšené produkce reaktivních forem kyslíku vlivem stresu inhibován Krebsův cyklus, což může způsobit přechodné snížení některých kyselin v něm zapojených. Avšak experimentálně bylo zjištěno, že během dehydratace a vyšší teploty (typické letní dny) může dojít k přechodnému zvýšení, zejména kyseliny jablečné nebo citronové /10/. To bylo potvrzeno i v naší studii (graf 2), kdy byl zaznamenán nárůst s přechodem do horkých nebo suchých měsíců (červen, červenec), hlavně u citlivých genotypů Justyna a Kordia. Úhrn srážek v červnu je sice vysoký, ale byl způsoben přívalovými dešti (graf.1). Některé studie uvádějí vlivem stresů negativní korelaci mezi kyselinou jantarovou a jablečnou /11/, což bylo potvrzeno i u nás. Důležitou roli hraje také poměr mezi kyselinou jablečnou a fumarovou, který ovlivňuje chování průduchy. Vysoké koncentrace malátu (zejména u Early Korvik, Justyna a Kordia) vedou k uzavírání průduchy, což by nasvědčovalo teplým a suchým dnem při odběrech 85 a 89. Obsah kyseliny fumarové byl

nejvyšší v období květu, zejména u genotypů Jacinta, Justyna a Regina. Obecně vede hromadění rozpustných sacharidů a prolinu k poklesu kyseliny fumarové, což je viditelné hlavně u genotypů Amid, Early Korvik a Jacinta ve fenofázích BBCH 85-92. Obsah kyseliny vinné byl vysoký na začátku sezóny, a dokonce se zvýšil na začátku kvetení (BBCH 71), poté vykazoval klesající tendenci. Poměrně vysoký obsah po celé vegetační období byl u Justyny.



Graf 2: Změny v obsahu prolinu a organických kyselin v listech vybraných odrůd třešní v průběhu vegetační sezóny 2022.



Graf 3: Změny v obsahu rozpustných cukrů a cukerných alkoholů v listech vybraných odrůd třešní v průběhu vegetační sezóny 2022.

Sacharidy, kromě své důležité funkce jako energeticky bohatých molekul a stavební bloky pro růst rostlin, hrají klíčovou roli v procesech udržujících buněčný turgor. Změny v koncentracích ve vodě rozpustných cukrů, jako je glukóza, fruktóza, sacharóza, sorbitol a mannitol, mohou být výsledkem regulace metabolismu a exportu cukrů /12/. S prohlubujícím se suchem se zvyšovali hodnoty glukózy a fruktózy (BBCH 85-89), které pak byly nahrazeny zvýšenou hladinou sacharózy (BBCH 92) - podobné výkyvy hladin lze pozorovat u všech genotypů, výrazněji u tolerantních Amid, Early Korvik a citlivé Jacinty (graf 3). Suché a teplé období červen-září zvýšilo syntézu rafinózy a stachyózy, hlavních rozpustných cukrů s výraznými osmoprotektivními účinky. Obecně během vegetačního období docházelo k trvalému nárůstu glycerolu a sorbitolu, nejvyšší hodnoty byly zaznamenány ve fenofázích BBCH 89 (konzumní zralost plodů) a 92 (zbarvení listů), které následovalo po období s vysokými teplotami a minimem srážek.

ZÁVĚR

Z výsledků hodnocení dynamiky osmoticky aktivních látek v průběhu vegetační sezony 2022 je patrné, že suché období vedlo k nárůstu koncentrace sledovaných cukrů (glukózy, fruktózy, rafinózy a stachyózy) a cukerného alkoholu sorbitolu. U organických kyselin došlo k přírůstku kyseliny jantarové, jablečné a citrónové, naopak pokles byl zaznamenán u kyseliny askorbové, vinné a fumarové. U tolerantních genotypů Amid, Early Korvik a Regina došlo k výraznějšímu nárůstu cukrů, naopak přírůstek organických kyselin nebyl tak výrazný ve srovnání s citlivými genotypy Jacinta, Justyna a Kordia.

LITERATURA

- /1/ Němcová, V., Buchtová, I.: Situační a výhledová zpráva: Ovoce 2023. Ministerstvo zemědělství, 2023, ISBN 978-80-7434-744-3.
- /2/ Anjum, S.A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., Tabassum, T., Nazir, U.: Growth and Developmental Responses of Crop Plants under Drought Stress: a Review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104, 2017: 267–276.
- /3/ Bhusal, N., Lee, M., Han, A.R. et al.: Responses to drought stress in *Prunus sargentii* and *Larix kaempferi* seedlings using morphological and physiological parameters. *Forest Ecology and Management*, 465, 2020: 118099.
- /4/ Saddhe, A.A., Manuka, R., Penna S.: Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 171, 2020, 739–755.
- /5/ Kovalikova, Z., Jiroutova, P., Toman, J., Dobrovolna, D., Drbohlavova, L.: Physiological Responses of Apple and Cherry In Vitro Culture under Different Levels of Drought Stress. *Agronomy*, 10, 2020: 1689.
- /6/ Jiroutova, P., Kovalikova, Z., Toman, J., Dobrovolna, D., Andrys, R.: Complex Analysis of Antioxidant Activity, Abscisic Acid Level, and Accumulation of Osmotica in Apple and Cherry In Vitro Cultures under Osmotic Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 2021: 7922.
- /7/ Carillo, P., Gibon, Y.: Protocol: Extraction and Determination of Proline, 2021.
- /8/ Jiménez, S., Dridi, J., Gutiérrez, D., Moret, D., Irigoyen, J.J., Moreno, M.A., Gogorcena, Y.: Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. *Tree Physiology*, 33, 2013: 1061–1075.
- /9/ Thippeswamy, M., Chandraabulreddy, P., Sinilal, B., Kumar, M.S., Sudhakar, C.: Proline accumulation and the expression of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in two safflower cultivars. *Biologia Plantarum*, 54, 2010: 386–390.
- /10/ Gao, Q.-H., Wu, C.-S., Wang, M., Xu, B.-N., Du, L.-J.: Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α -tocopherol, β -carotene, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 2012: 9642–9648.
- /11/ Araújo, W.L., Nunes-Nesi, A., Osorio, S., Usadel, B., Fuentes, D., Nagy, R., Balbo, I., Lehmann, M., Studart-Witkowski, C., Tohge, T., Martinoia, E., Jordana, X., DaMatta, F.M., Fernie, A.R. Antisense inhibition of the iron-Sulphur Subunit of succinate dehydrogenase enhances photosynthesis and growth in tomato via an organic acid-mediated effect on stomatal aperture. *Plant Cell*, 23, 2011:600–627.

/12/ Valliyodan, B., Nguyen, H.T.: Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 9, 2006: 189–195.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného projektu QK21010200.

VYUŽITÍ FYZIOLOGICKÝCH CHARAKTERISTIK PRO STANOVENÍ ODOLNOSTI JABLONÍ VŮČI VODNÍMU DEFICITU

USE OF PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS TO DETERMINE THE TOLERANCE OF APPLE TREES TO WATER DEFICIT

Tomáš Rýgl, František Hnilička, Jana Česká, Jan Killian Kodet, Jiří Kudrna, Jan Kubeš

Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, Praha–Suchdol 16500
e-mail: rygl@af.czu.cz

Summary

The effect of water deficit was monitored under partially controlled conditions of the foliar cover in selected apple genotypes: Gala, Idared, Frosta, B11, HL 53, HL 155-05 in a container experiment, where water deficit was induced for 14 days followed by one week of rehydration. The experiment was carried out at developmental stages 31 BBCH to 67 BBCH. Among the physiological characteristics, pigment content, photosynthesis and transpiration rates, chlorophyll fluorescence were monitored. The results show that the effect of water deficit leads to a decrease in all the observed characteristics. Under the influence of rehydration, all physiological parameters increased, but the values of control plants were not reached. The rehydration period of 7 days is short for apple trees. The results show that the increase in transpiration values during the dry season in the varieties Gala and Frosta makes them unsuitable for drier areas. Idared, on the other hand, is a more plastic variety. The genotypes HL 53, HL 155-05 appear to be promising genotypes with potential for further research.

Key words: water deficit; drought; apple tree; Malus sylvestris; gas exchange; pigments; fluorescence

Souhrn

Vliv vodního deficitu byl sledován v částečně řízených podmínkách foliového krytu u vybraných genotypů jabloní: Gala, Idared, Frosta, B 11, HL 53, HL 155-05 v rámci nádobového pokusu, kdy byl vodní deficit navozen po dobu 14 dnů s následnou týdenní rehydratací. Pokus se uskutečnil ve vývojových fázích 31 BBCH až 67 BBCH. Z fyziologických charakteristik byly sledovány obsah pigmentů, rychlost fotosyntézy a transpirace, fluorescence chlorofylů. Z výsledků vyplývá, že vlivem působení vodního deficitu dochází ke snížení všech sledovaných charakteristik. Vlivem rehydratace dochází k nárůstu všech fyziologických parametrů, avšak nebylo dosaženo hodnot kontrolních rostlin. Délka rehydratace 7 dnů je pro jabloně krátká. Z výsledků je patrné, že vlivem zvýšení hodnot transpirace v období sucha jsou odrůdy Gala a Frosta nevhodné do sušších oblastí. Odrůda Idared je naopak odrůdou plastičtější. Jako nadějně genotypy s potenciálem pro další výzkum se jeví genotypy HL 53, HL 155-05.

Klíčová slova: odrůdy, jabloně; vodní deficit; výměna plynů; fluorescence; pigmenty

ÚVOD

Jabloň domácí (*Malus domestica* Borkh.) patří celosvětově k hospodářsky nejvýznamnějším kontinentálním plodinám a zároveň se řadí k nejvíce konzumovaným druhům ovoce na světě /1/. Podle /2/ činila v roce 2022 výměra ovocných sadů v ČR 15 419 ha, z toho plocha jabloňových sadů zaujímal 5 864 ha. Jedním z důvodů, které vedou ke snížení

pěstebních ploch, je také výskyt vodního deficitu (sucha), který nepříznivě ovlivňuje růst rostlin, přežití a omezuje produktivitu plodin, což způsobuje snížení výnosu a kvality ovoce /3/. Podle /4/ dochází vlivem sucha ke snížení obsahu chlorofylů v listech, kdy je tento jev pozorovatelný dvanáctý den po navození stresu. /5, 6/ uvádí, že existují meziodrůdové rozdíly v reakci rostlin na vodní deficit. Všechny tyto uvedené změny ovlivňují fotosyntézu /7/ a aktivitu elektronového transportu /8/. V případě působení mírného až silného sucha dochází ke snížení fotosyntézy v důsledku omezeného příjmu CO₂ a nižší enzymatické aktivitě /9/. /10/ akcentují vliv stomatální vodivosti (otevřenost průduchů), jak v případě jabloní uvádí /11/. Podle /12/ je otevírání a uzavírání průduchů ovlivněno délkou působení vodního deficitu. Podle /13/ je nestomatální snížení fotosyntézy způsobené všemi ostatními procesy, včetně biochemických, kdy návrat do původního stavu vyžaduje další zdroje vody a uhlíku.

MATERIÁL A METODIKA

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách foliového krytu v areálu VŠÚO, s.r.o. Holovousy. Pokus zahrnoval 2 varianty. Kontrolní varianta představovala plně zavlažovanou část rostlin, a to po celou dobu pokusu. Druhá varianta byla stresována vodním deficitem, kdy byl vodní deficit navozen postupným vysycháním substrátu mezi vývojovými fázemi 55 a 60 BBCH, po dobu 14 dnů. Následně u stresovaných rostlin proběhla týdenní rehydratace. Rostliny jabloní byly pěstovány na podnoži M9 v nádobách o objemu 50 l. Experimentální rostliny byly pěstovány v zahradním substrátu AGRO CS. Do pokusu byly zařazeny následující genotypy jabloní: Gala, Idared, Frosta, B11, HL 53, HL 155-05. Od každého genotypu bylo pěstováno 6 ks stromků. Měření se uskutečnila: 31 BBCH, 39 BBCH, 55 BBCH (7. den stresu), 60 BBCH (14. den stresu), 67 BBCH (7. den rehydratace).

Pro zjišťování hodnot rychlosti výměny plynů, fotosyntézy (Pn) a transpirace (E), byl využit infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bioscientific Ltd.). Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo v dopoledních hodinách (8-13 h SEČ) při teplotě 25 °C a hustotě dopadajícího záření 650 μmol m⁻² s⁻¹. Rychlost výměny plynů byla sledována na základě pokusů /14/. Pro měření parametrů fluorescence chlorofylu Fv/Fm byl využit fluorometr OS5p+ (OptiScience) na základě metodiky /15/. Stanovení obsahu pigmentů proběhlo dle metodiky /16/. Vzorky byly spektrofotometricky vyhodnoceny přístrojem UV-Vis Evolution 2000 (ThermoScientific).

Statistické vyhodnocení dat se uskutečnilo pomocí programu STATISTICA 13.5 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Variabilita rozdílů ve sledovaných parametrech byla testována dvoufaktorovým modelem ANOVA s interakcemi a Tukeyho post hoc testem na hladině významnosti p<0,05. Statistická analýza se uskutečnila vždy ze 3 opakování (stromů) od každého genotypu a varianty.

VÝSLEDKY A DISKUSE

U rostlin jabloně byly studovány změny obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na genotypu a deficitu vody, včetně rehydratace. Získané výsledky jsou uvedeny v tab. 1. Z ní vyplývá, že byl prokázán vliv genotypu na obsah pigmentů v listech, kdy nejnižší obsah pigmentů byl zjištěn u odrůd Idared (13,40 nM cm⁻²) a naopak nejvyšší u genotypu HL 155-05 (20,85 nM cm⁻²). Uvedené závěry potvrzuje také např. /17/.

Dále byl potvrzen vliv varianty na obsah pigmentů, protože stresované varianty vykazovaly nižší hodnoty ve srovnání s kontrolou. Podle /18/ může být snížení pigmentů a zejména chlorofylů způsobeno nejenom jejich degradací, případně vznikem chloróz, ale především jejich syntézou a tvorbou reaktivních forem kyslíku (ROS), což také potvrzují např. /4/. Po následné rehydrataci se obsah pigmentů v listech zvýšil, avšak jejich obsah již nedosahoval hodnot naměřených u kontrolních rostlin /19/. Během působení vodního deficitu dochází k poklesu obsahu pigmentů již na jeho počátku (fáze 55 BBCH), kdy nejvyšší snížení bylo zaznamenáno u genotypu HL 53 o $6,03 \text{ nM cm}^{-2}$ a naopak nejnižší u odrůdy Frosta o $3,68 \text{ nM cm}^{-2}$ v porovnání s kontrolou, jak dokládá tab. 1. Podle /5/ dochází vlivem sucha ke snížení obsahu chlorofylů v listech po dvanácti dnech působení stresoru. Tento závěr nebyl u sledovaných genotypů potvrzen, neboť obsah pigmentů se snížil již sedmý den po působení vodního deficitu. Rozdíl je patrně způsoben rozdílným způsobem navození vodního deficitu a výběrem podnože.

Tab. 1: Vliv varianty na obsah pigmentů (nM cm^{-2}) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jablek.

Varianta	Genotyp	Vývojová fáze				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola	GALA	$17,16 \pm 1,00^c$	$18,53 \pm 0,77^c$	$18,90 \pm 0,92^d$	$18,90 \pm 1,94^c$	$23,72 \pm 2,05^b$
	IDARED	$14,50 \pm 0,76^e$	$13,14 \pm 2,25^f$	$14,80 \pm 0,97^h$	$14,94 \pm 1,48^e$	$16,41 \pm 1,05^d$
	FROSTA	$15,43 \pm 1,79^d$	$14,76 \pm 1,91^e$	$17,81 \pm 0,69^e$	$16,58 \pm 2,34^d$	$16,78 \pm 1,17^d$
	HL 155-05	$17,31 \pm 0,67^b$	$22,11 \pm 3,52^a$	$22,98 \pm 2,97^s$	$23,56 \pm 2,56^b$	$25,45 \pm 1,24^b$
	B 11	$15,55 \pm 0,92^{a,b}$	$16,25 \pm 1,54^d$	$17,36 \pm 1,23^f$	$18,74 \pm 0,92^c$	$21,59 \pm 1,15^c$
	HL 53	$17,81 \pm 1,63^a$	$19,36 \pm 2,27^b$	$20,43 \pm 2,25^b$	$27,99 \pm 3,69^a$	$30,69 \pm 2,66^a$
Stres	GALA	$17,16 \pm 1,00^c$	$18,53 \pm 0,77^c$	$15,57 \pm 1,55^g$	$11,25 \pm 1,32^g$	$13,23 \pm 1,25^f$
	IDARED	$14,50 \pm 0,76^e$	$13,14 \pm 2,25^f$	$11,15 \pm 0,64^j$	$9,92 \pm 1,01^i$	$11,45 \pm 0,99^g$
	FROSTA	$15,43 \pm 1,79^d$	$14,76 \pm 1,91^e$	$14,13 \pm 2,04^i$	$11,25 \pm 1,02^g$	$13,39 \pm 0,92^f$
	HL 155-05	$17,31 \pm 0,67^b$	$22,11 \pm 3,52^a$	$19,91 \pm 1,05^c$	$16,99 \pm 1,94^d$	$20,84 \pm 1,21^c$
	B 11	$15,55 \pm 0,92^{a,b}$	$16,25 \pm 1,54^d$	$14,66 \pm 1,69^h$	$10,28 \pm 1,03^{g,h}$	$14,59 \pm 1,08^e$
	HL 53	$17,81 \pm 1,63^a$	$19,36 \pm 2,27^b$	$14,40 \pm 1,33^h$	$13,76 \pm 1,15^f$	$16,83 \pm 1,58^d$

Dále je patrné, že na 14denní vodní deficit reaguje citlivě genotyp HL-53, u kterého se snížil obsah pigmentů o $14,23 \text{ nM cm}^{-2}$ ve srovnání s kontrolou. Naopak nejnižší snížení bylo zjištěno u genotypu HL 155-05, u něhož se obsah pigmentů snížil o $6,57 \text{ nM cm}^{-2}$. /5/ konstatují, že existují meziodrůdové rozdíly v reakci na sucho. Opačné genotypové rozdíly ve své práci uvádí /4/. Rozdíl ve výsledcích může být dán sníženou degradací chlorofylu a jeho poškozením ROS.

Po obnovení závlivky se obsah pigmentů u všech sledovaných genotypů zvýšil, přičemž na rehydrataci průkazně nejvyšším zvýšením obsahu pigmentů reagoval genotyp B 11 a na straně druhé statisticky neprůkazně odrůda Idared. Obsah pigmentů v listech rostlin lze tedy považovat za dobrý indikátor stanovení odolnosti/citlivosti genotypů vůči stresům.

Rychlost fotosyntézy (P_n) byla významně ovlivněna variantou pokusu a genotypem, jak je dokumentováno v tab. 2. Vlivem vodního deficitu dochází k průkaznému snížení fotosyntézy, kdy její průměrná hodnota u kontrolních rostlin byla $8,11 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kdežto u rostlin stresovaných $7,41 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Snížení rychlosti fotosyntézy vlivem vodního deficitu uvádí /20/. Poklesy fotosyntézy u stresovaných rostlin jsou způsobeny snížením obsahu pigmentů, a využitím sluneční energie /21/, jak dokládají i výsledky získané v tomto pokusu. Dále se

fotosyntéza snižuje vlivem stomatální a nestomatální inhibice, rovněž i aktivitou enzymů /22/. /23/ doplňují ještě změnu v transportu elektronů v rámci fotosystému II (hodnoty fluorescence). Po rehydrataci se fotosyntéza oproti vodnímu deficitu zvýšila, zvýšila hodnot kontrolních rostlin ale nedosáhla, což je v souladu s výsledky např. /24/ u kukuřice. Rychlost reverzibility je dána nejenom délkou trvání vodního deficitu, ale také genotypovými rozdíly. Podle /7/ již dochází k mírnému navýšení rychlosti fotosyntézy u stresovaných rostlin již po 1. dnu rehydratace. S ohledem na skutečnost, že rychlost fotosyntézy byla měřena až 7. dne po rehydrataci, lze usuzovat, že se vliv závlahy projeví ihned po její obnově.

Tab. 2: Vliv varianty na rychlost fotosyntézy (P_n , $\mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jabloní.

Varianta	Genotyp	Vývojová fáze				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola	GALA	7,26 ± 0,72 ^b	7,98 ± 0,84 ^{a,b}	7,60 ± 0,43 ^c	7,84 ± 0,70 ^c	8,05 ± 0,83 ^c
	IDARED	7,37 ± 0,89 ^a	8,07 ± 0,81 ^a	8,54 ± 0,66 ^a	8,60 ± 0,73 ^b	8,63 ± 0,81 ^b
	FROSTA	7,29 ± 0,42 ^d	7,95 ± 0,62 ^b	8,62 ± 0,55 ^a	8,87 ± 0,63 ^a	9,01 ± 0,63 ^a
	HL 155-05	7,26 ± 0,93 ^b	7,83 ± 0,75 ^{b,c}	7,90 ± 0,85 ^b	8,27 ± 0,70 ^c	8,64 ± 0,98 ^b
	B 11	7,26 ± 0,88 ^b	7,65 ± 0,94 ^d	7,95 ± 0,77 ^b	7,84 ± 1,54 ^c	7,69 ± 1,04 ^{d,e}
	HL 53	7,18 ± 0,66 ^c	7,77 ± 0,91 ^{c,d}	7,89 ± 0,72 ^b	7,99 ± 0,83 ^d	8,07 ± 0,94 ^c
Stres	GALA	7,26 ± 0,72 ^b	7,98 ± 0,84 ^{a,b}	7,36 ± 0,82 ^c	7,20 ± 0,73 ^g	7,43 ± 0,81 ^f
	IDARED	7,37 ± 0,89 ^a	8,07 ± 0,81 ^a	7,46 ± 1,05 ^d	7,23 ± 0,98 ^g	7,59 ± 0,82 ^e
	FROSTA	7,29 ± 0,42 ^d	7,95 ± 0,62 ^b	7,64 ± 0,63 ^c	7,52 ± 0,63 ^f	7,79 ± 0,91 ^d
	HL 155-05	7,26 ± 0,93 ^b	7,83 ± 0,75 ^{b,c}	7,15 ± 0,82 ^{f,g}	7,08 ± 0,95 ^h	7,19 ± 0,75 ^{h,i}
	B 11	7,26 ± 0,88 ^b	7,65 ± 0,94 ^d	7,20 ± 0,75 ^f	7,02 ± 1,02 ^h	7,25 ± 0,88 ^g
	HL 53	7,18 ± 0,66 ^c	7,77 ± 0,91 ^{c,d}	7,14 ± 0,57 ^g	7,02 ± 0,97 ^h	7,16 ± 0,95 ^{h,i}

Vlivem působení vodního deficitu byl v porovnání s rostlinami zavlažovanými u všech genotypů zaznamenán pokles fotosyntézy, přičemž nejvyšší průkazný pokles fotosyntézy v rámci dvou na sebe navazujících fází vývoje byl naměřen u genotypů HL 155-05 ($7,15 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a HL 53 ($7,14 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Naopak na straně druhé bylo neprůkazné snížení fotosyntézy zjištěno u odrůdy Frosta, u níž fotosyntéza klesla o 3,97 % na hodnotu $7,64 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Po 14denním působení vodního deficitu se téměř u všech sledovaných genotypů rychlost fotosyntézy průkazně snížila, přičemž nejnižší snížení fotosyntézy vykazovala odrůda Frosta ($7,52 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). U zbývajících genotypů bylo snížení výraznější, neboť v rámci této skupiny genotypů zaznamenal nejnižší pokles genotyp B 11, a to o 8,31 %, $0,63 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, naopak nejvyšší odrůda Idared o 10,40 %. U všech sledovaných genotypů se v důsledku rehydratace fotosyntéza zvýšila. Fenotypové rozdíly v reakci rostlin na vodní deficit potvrzuje např. /25/.

V tab. 3 jsou uvedeny hodnoty rychlosti transpirace (E) kontrolních a stresovaných rostlin jabloní v závislosti na vývoji rostlin. Z uvedené tabulky je patrné, že rychlost transpirace je shodně s rychlostí fotosyntézy ovlivněna vývojem rostlin, především pak vodním deficitem. V případě rostlin stresovaných byla transpirace ve výši $1,63 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, což je o 10,44 % nižší hodnota než u kontrolních rostlin. Ke snížení rychlosti transpirace u stresovaných rostlin dochází v důsledku ztráty turgoru a k postupnému uzavírání průduchů, jak dokládají práce např. /26/. V rámci hodnocení jednotlivých genotypů je možné konstatovat, že nejnižší průměrnou

transpiraci vykazuje odrůda Frosta ($1,40 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a genotyp B 11 ($1,56 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Naopak nejvyšší průměrná transpirace byla stanovena u genotypu HL 53 ($1,88 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a odrůdy Gala ($1,92 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Vliv genotypu na změny v rychlosti transpirace u rostlin ovlivněných vodním deficitem potvrzují práce /18/.

Tab. 4: Vliv varianty na rychlost transpirace (E , $\text{mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jabloní.

Varianta	Genotyp	Vývojová fáze				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola	GALA	$0,58 \pm 0,24^c$	$1,55 \pm 0,18^d$	$2,49 \pm 0,27^a$	$2,49 \pm 0,27^a$	$3,38 \pm 0,31^a$
	IDARED	$1,12 \pm 0,21^a$	$1,77 \pm 0,30^{c,d}$	$1,13 \pm 0,18^f$	$2,19 \pm 0,22^b$	$2,70 \pm 0,42^b$
	FROSTA	$0,75 \pm 0,31^b$	$1,05 \pm 0,18^e$	$1,39 \pm 0,13^e$	$1,47 \pm 0,22^c$	$2,15 \pm 0,26^c$
	HL 155-05	$0,78 \pm 0,23^b$	$2,15 \pm 0,15^b$	$2,21 \pm 0,13^b$	$2,26 \pm 0,24^a$	$2,43 \pm 0,22^c$
	B 11	$0,15 \pm 0,22^d$	$1,89 \pm 0,17^c$	$1,94 \pm 0,23^c$	$2,19 \pm 0,19^b$	$2,24 \pm 0,15^d$
	HL 53	$0,14 \pm 0,18^d$	$2,29 \pm 0,19^a$	$2,15 \pm 0,15^{b,c}$	$2,21 \pm 0,33^b$	$2,83 \pm 0,17^b$
Stres	GALA	$0,58 \pm 0,24^c$	$1,55 \pm 0,18^d$	$2,19 \pm 0,25^{b,c}$	$2,02 \pm 0,27^c$	$2,37 \pm 0,19^c$
	IDARED	$1,12 \pm 0,21^a$	$1,77 \pm 0,30^{c,d}$	$1,08 \pm 0,19^f$	$1,69 \pm 0,17^d$	$2,29 \pm 0,21^d$
	FROSTA	$0,75 \pm 0,31^b$	$1,05 \pm 0,18^e$	$1,33 \pm 0,25^e$	$1,90 \pm 0,23^c$	$2,15 \pm 0,27^c$
	HL 155-05	$0,78 \pm 0,23^b$	$2,15 \pm 0,15^b$	$1,87 \pm 0,13^c$	$1,90 \pm 0,17^c$	$1,93 \pm 0,16^c$
	B 11	$0,15 \pm 0,22^d$	$1,89 \pm 0,17^c$	$1,71 \pm 0,25^d$	$1,65 \pm 0,19^d$	$1,78 \pm 0,14^f$
	HL 53	$0,14 \pm 0,18^d$	$2,29 \pm 0,19^a$	$2,22 \pm 0,29^b$	$2,09 \pm 0,17^{b,c}$	$2,47 \pm 0,25^g$

Oproti fotosyntéze je možné, viz tab. 3, sledované genotypy rozdělit do dvou skupin. První skupinu představují genotypy, u nichž se vlivem vodního deficitu transpirace zvyšuje. Tento trend byl zaznamenán v průběhu působení stresu. Do této skupiny patří odrůdy Gala a Frosta. Vzhledem k této skutečnosti se jedná o odrůdy nevhodné do sušších oblastí. Druhá skupina zahrnuje genotypy, u nichž vlivem vodního deficitu dochází ke snížení rychlosti transpirace: HL 53, Idared a B 11. Získané rozdíly sledovaných genotypů v reakci na vodní deficit a jejich rozdělení na citlivé a tolerantní dle výměny plynů a obsahu vody v listech uvádí např. /5/.

Jedním z významných parametrů, které se využívají ke stanovení odolnosti/citlivosti na stres jsou parametry fluorescence, jako je např. Fv/Fm /27/. Výsledky uvedené v tab. 4 proto uvádí změny hodnot fluorescence chlorofylů u vybraných genotypů jabloní v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin a působení vodního deficitu. Je možné konstatovat, že deficit vody ovlivňuje parametry fluorescence (Fv/Fm), neboť u stresovaných rostlin byla hodnota Fv/Fm 0,700, kdežto u kontrolních rostlin byla 0,800. Nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl v hodnotě Fv/Fm mezi sledovanými genotypy, kdy jejich průměrná hodnota činila 0,751, což je hodnota nižší než obvykle udávaná hodnota Fv/Fm, která je 0,820, jak dokládá tab. 4. Uvedené výsledky odpovídají závěrům /18/ u pšenice.

Nižší poměr Fv/Fm byl zaznamenán u jabloní na začátku vodního deficitu, kdy se v porovnání se zavlažovanými rostlinami průkazně snížil, kdy nejnižší hodnota fluorescence byla naměřena u genotypu HL 155-05 (0,550) a naopak nejvyšší u odrůdy Gala (0,660). Po čtrnácti dnech působení vodního deficitu byly hodnoty neprůkazně vyšší než na jeho počátku, avšak stále detekovaly střední vodní stres. Na konci působení vodního stresu byly hodnoty fluorescence v rámci genotypů relativně vyrovnané. Nejnižší hodnota poměru Fv/Fm byla stanovena u odrůdy Frosta (0,630) a nejvyšší u genotypu HL 53 (0,683). Snížení hodnot fluorescence u jabloní vlivem působení vodního deficitu potvrzují např. /4/. Uvedené snížení

hodnot poměru Fv/Fm je spojeno s oxidačním stresem a poškozením buněčné membrány vlivem zvýšené peroxidace lipidů /28/. Dále dochází ke zvýšenému rozptylu tepla, energie, ke snížení karboxylační aktivity a přenosu elektronů během fotosyntézy. Dle výsledků /29/ dochází rovněž k fotoinhibici, která snižuje fluorescenci.

Tab. 4: Vliv varianty na Fv/FM (maximální kvantový výtěžek fluorescence) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jablek.

Varianta	Genotyp	Vývojová fáze				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola	GALA	0,793 ± 0,01	0,799 ± 0,01	0,807 ± 0,01 ^a	0,800 ± 0,01 ^a	0,800 ± 0,01 ^{a,b}
	IDARED	0,793 ± 0,01	0,796 ± 0,01	0,798 ± 0,01 ^a	0,793 ± 0,01 ^b	0,790 ± 0,01 ^{a,b}
	FROSTA	0,795 ± 0,01	0,790 ± 0,01	0,802 ± 0,01 ^a	0,797 ± 0,01 ^{a,b}	0,807 ± 0,01 ^a
	HL 155-05	0,797 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,790 ± 0,01 ^b	0,813 ± 0,01 ^a	0,808 ± 0,04 ^a
	B 11	0,795 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,799 ± 0,01 ^a	0,798 ± 0,01 ^{a,b}	0,802 ± 0,04 ^a
	HL 53	0,800 ± 0,01	0,792 ± 0,01	0,800 ± 0,01 ^a	0,817 ± 0,01 ^a	0,798 ± 0,02 ^{a,b}
Stres	GALA	0,793 ± 0,01	0,799 ± 0,01	0,660 ± 0,01 ^c	0,664 ± 0,02 ^d	0,660 ± 0,01 ^c
	IDARED	0,793 ± 0,01	0,796 ± 0,01	0,659 ± 0,05 ^c	0,681 ± 0,02 ^c	0,659 ± 0,05 ^c
	FROSTA	0,795 ± 0,01	0,790 ± 0,01	0,618 ± 0,01 ^d	0,630 ± 0,01 ^e	0,607 ± 0,01 ^e
	HL 155-05	0,797 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,550 ± 0,02 ^f	0,659 ± 0,04 ^d	0,574 ± 0,05 ^f
	B 11	0,795 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,637 ± 0,01 ^e	0,644 ± 0,01 ^e	0,633 ± 0,04 ^d
	HL 53	0,800 ± 0,01	0,792 ± 0,01	0,624 ± 0,03 ^d	0,683 ± 0,03 ^c	0,631 ± 0,04 ^d

ZÁVĚR

Z fyziologických charakteristik byly sledovány obsah pigmentů, rychlost fotosyntézy a transpirace, fluorescence chlorofylů. Z výsledků vyplývá, že vlivem působení vodního deficitu dochází ke snížení všech sledovaných charakteristik. Byl potvrzen rozdíl mezi novošlechtěním a referenčními odrůdami. Vlivem rehydratace dochází k nárůstu všech fyziologických parametrů, avšak nebylo dosaženo hodnot kontrolních rostlin. Sedmidenní rehydratace se pro jabloně ukázala být příliš krátkou. Z výsledků je patrné, že vlivem zvýšení hodnot transpirace v období sucha u odrůd Gala a Frosta jsou tyto odrůdy nevhodné do sušších oblastí. Odrůda Idared je naopak odrůdou platičtější. Jako nadějně genotypy s potenciálem pro další výzkum se jeví genotypy HL 53, HL 155-05.

LITERATURA

- /1/ Harris, S.A.; Robinson, J.P.; Juniper, B.E., 2002: Genetic clues to the origin of the apple. *Trends in Genetics*, 18 (8): 426–430.
- /2/ ČSÚ, 2023: Statistická ročenka České republiky 2023. Český statistický úřad, Praha, 409-436
- /3/ Pérez-Pérez, J.G.; Romero, P.; Navarro, J.M.; Botía, P., 2008: Response of sweet orange cv “Lane late” to deficit irrigation in two rootstocks. I: Water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. *Irrigation Science*, 26: 415–425.
- /4/ Bhusal, N.; Han, S.G.; Yoon, T.M., 2019: Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, 246: 535–543.
- /5/ Mihaljević, I.; Viljevac Vuletić, M.; Šimić, D.; Tomaš, V.; Horvat, D.; Josipović, M.; Zdunič, Z.; Dugalič, K.; Vuković, D., 2021: Comparative study of drought stress effects on traditional and modern apple cultivars. *Plants*, 10.
- /6/ Jahns, P.; Holzwarth, A.R., 2012: The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. Online. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1817: 182–193.
- /7/ Gomes, M.T.G.; da Luz, A.C.; Rossi dos Santos, M.; Do Carmo Pimentel Batitucci, M.; Moura Silva, D.; Falqueto, A.R., 2012: Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transient. *Scientia Horticulturae*, 142: 49–56.

- /8/ Bhusal, N.; Lee, M.; Han, A.R.; Han, A.; Kim, H.S., 2020: Responses to drought stress in *Prunus sargentii* and *Larix kaempferi* seedlings using morphological and physiological parameters. *Forest Ecology and Management*, 465
- /9/ dos Santos Gouvêa, P.R.; Marengo, R.A., 2018: Is a reduction in stomatal conductance the main strategy of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) to deal with water stress? *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 30: 321-333.
- /10/ Drake, J.E.; Power, S.A.; Duursma, R.A.; Medlyn, B.E.; Aspinwall, M.J.; Choat, B.; Creek, D.; Eamus, D.; Maier, C.; Pfautsch, S.; Smith, R.A.; Tjoelker, M.G.; Tissue, D.T., 2017: Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis for four tree species under drought: A comparison of model formulations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247: 454–466.
- /11/ Li F, Cohen, S.; Naor, A.; Shaozong, K.; Erez, A., 2002: Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks. *Agricultural Water Management*, 55: 1–14.
- /12/ Farquhar, G.D.; Ehleringer, J.R.; Hubick, K.T., 1989: Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 503–537.
- /13/ Zhou, S.; Duursma, R.A.; Medlyn, B.E.; Kelly, J.W.G.; Prentice, I.C., 2013: How should we model plant responses to drought? An analysis of stomatal and non-stomatal responses to water stress. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182: 204–214.
- /14/ Kuklova, M.; Hnilickova, H.; Kukla, J.; Hnilicka, F., 2015: Environmental impact of the Al smelter on physiology and macronutrient contents in plants and Cambisols. *Plant, Soil and Environment*, 61 (2): 72–78.
- /15/ Roháček, K.; Barták, M., 1999: Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications. *Photosynthetica*, 37 (3): 339-363.
- /16/ Porra, R.J.; Thompson, W.A.; Kriedemann, P.E., 1989: Determination of Accurate Extinction Coefficients and Simultaneous Equations for Assaying Chlorophylls a and b Extracted with Four Different Solvents: Verification of the Concentration of Chlorophyll Standards by Atomic Absorption Spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 975 (3): 384–394.
- /17/ Šircelj, H.; Tausz, M.; Grill, D.; Batič, F., 2007: Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Scientia Horticulturae*, 113 (4): 362–369.
- /18/ Hnilicka, F.; Lysytskiy, S.; Rygl, T.; Hnilickova, H.; Pecka, J., 2023: Effect of Short-Term Water Deficit on Some Physiological Properties of Wheat (*Triticum aestivum* L.) with Different Spike Morphotypes. *Agronomy*, 13
- /19/ Barboričová, M.; Filaček, A.; Vysoká, D.M.; Gašparovič, K.; Živčák, M.; Brestic, M., 2022: Sensitivity of fast chlorophyll fluorescence parameters to combined heat and drought stress in wheat genotypes. *Plant, Soil and Environment*, 68 (7): 309–316.
- /20/ Kandel, S., 2021: Wheat responses, defence mechanisms and tolerance to drought stress: a review article. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 8(5): 99–109.
- /21/ Galmes, J.; Medrano, H.; Flexas, J., 2007: Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms. *New Phytologist*, 175 (1): 81–93.
- /22/ Parry, M.A.J.; Andralojc, P.J.; Khan, S.; Lea, P.J.; Keys, A.J., 2002: Rubisco activity: Effects of drought stress. *Annals of Botany*, 89 (7): 833–839.
- /23/ Wang, J.; Zhang, X.; Han, Z.; Feng, H.; Wang, Y.; Kang, J.; Han, X.; Wang, L.; Wang, C.; Li, H.; Ma, G., 2022: Analysis of physiological indicators associated with drought tolerance in wheat under drought and re-watering conditions. *Antioxidants*, 11
- /24/ Badr, A.; Brüggemann, W., 2020: Comparative analysis of drought stress response of maize genotypes using chlorophyll fluorescence measurements and leaf relative water content. *Photosynthetica*, 58 (2): 38–645.
- /25/ Chaves, M.M.; Pereira, J.S.; Maroco, J.; Rodrigues, M.; Ricardo, C.P.P.; Osório, M.L.; Carvalho, I.; Faria, T.; Pinheiro, C., 2002: How plants cope with water stress in the field: Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89 (7): 907–916.
- /26/ Liu, H.; Song, S.; Zhang, H.; Li, Y.; Niu, L.; Zhang, J.; Wang, W., 2022: Signaling transduction of ABA, ROS, and Ca²⁺ in plant stomatal closure in response to drought. *International Journal of Molecular Sciences*, 23
- /27/ Ahrens, C.W.; Challis, A.; Byrne, M.; Leigh, A.; Nicotra, A.B.; Tissue, D.; Rymer, P., 2021: Repeated extreme heatwaves result in higher leaf thermal tolerances and greater safety margins. *New Phytologist*, 232 (3): 1212–1225.
- /28/ Benhassaine-Kesri, G.; Aid, F.; Demandre, C.; Kader, J.C.; Mazliak, P., 2002: Drought stress affects chloroplast lipid metabolism in rape (*Brassica napus*) leaves. *Plant Physiology*, 115 (2): 221–227.
- /29/ Lu, C.; Zhang, J. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Functional Plant Biology*, 25 (8): 883–892.

Poděkování

Uvedený výzkum byl financován projektem MZe ČR – NAZV QK21010200: Šlechtění ovocných druhů na odolnost k abiotickým vlivům v kombinaci s vysokým obsahem antioxidantů v plodech.

ZMĚNY FYZIOLOGICKÝCH PARAMETRŮ RÉVY VINNÉ ZPŮSOBENÉ DEFICITEM VODY

Changes in grapevine physiological parameters caused by water deficit.

František Hnilička¹, Barbora Tunklová¹, Tomáš Rýgl¹, Radek Sotolář², Kateřina Kocová¹

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, Praha–Suchdol 16500
e-mail: hnilicka@af.czu.cz

² Zahradnická fakulta Mendelovy univerzity v Brně, Ústav vinohradnictví a vinařství
Valtická 337, 691 44 Lednice na Moravě

Summary

The impact of water deficit affects crop production worldwide, including grapevine. A greenhouse experiment was carried out on cuttings of 'Modrý Portugal', 'Müller Thurgau', 'Sauvignon' grape varieties. The experimental scheme included 5 irrigation treatments: 120 ml (control) and 90 ml, 60 ml, 15 and 30 ml. Gas exchange rates were measured at weekly intervals. The results confirm genotypic differences in response to water stress, with 'Sauvignon' responding least sensitively to water deficit conditions. In contrast, 'Müller Thurgau' appears to be sensitive to water stress. There is a difference in the physiology of the plants depending on the stressor, as the stressed plants show lower values of the parameters monitored compared to the control plants. The effect of limited watering on the monitored parameters of the selected grapevine varieties was demonstrated, with the 15 ml variant causing the most significant stress. On the basis of the results obtained, it can be concluded that the variety 'Sauvignon' appears tolerant to water deficit and, on the contrary, the variety 'Müller Thurgau' is sensitive.

Key words: grapevines, water deficit, gas exchange, fluorescence, pigments

Souhrn

Vliv nedostatku vody ovlivňuje produkci plodin po celém světě, včetně vinné révy. Byl proveden skleníkový pokus s řízků odrůd 'Modrý Portugal', 'Müller Thurgau', 'Sauvignon'. Experimentální schéma zahrnovalo 5 zavlažovacích režimů: 120 ml (kontrola) a 90 ml, 60 ml, 15 a 30 ml. Rychlost výměny plynů byla měřena v týdenních intervalech. Výsledky potvrzují genotypové rozdíly v reakci na vodní stres, kdy odrůda 'Sauvignon' reagovala nejméně citlivě na podmínky vodního deficitu. Naopak odrůda 'Müller Thurgau' se jeví citlivou ke stresu z nedostatku vody. Existuje rozdíl ve fyziologii rostlin v závislosti na působení stresoru, neboť rostliny stresované vykazují nižší hodnoty sledovaných parametrů v porovnání s rostlinami kontrolními. Byl prokázán vliv omezené závlivky na sledované parametry vybraných odrůd révy vinné, kdy varianta s 15 ml způsobila nejvýraznější stres. Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že odrůda 'Sauvignon' se jeví vůči vodnímu deficitu tolerantní a naopak odrůda 'Müller Thurgau' citlivou.

Klíčová slova: réva vinná, vodní deficit, výměna plynů, fluorescence, pigmenty

ÚVOD

Réva vinná je citlivá na nedostatek vody, což závisí na řadě faktorů, jako jsou například charakter půdy, zásoby vody v půdě a mezoklima. Liší se podle genetických vlastností rostlin (odrůda, podnož) a také dle agronomických faktorů a pěstitelských technik, jako jsou krycí plodiny, spon výstavby, poměr listů a plodů /25/. Studie uskutečněné v různých oblastech ukázaly, že množství vody v rostlinách má zásadní vliv na fyziologické reakce révy vinné, kvalitu hroznů a výsledného produktu /24/.

Extrémní vodní stres vede ke snížení výměny plynů prostřednictvím otevírání a zavírání průduchy, což vede ke zpomalení růstu rostliny v raných fázích /8/. Vodní stres u rostlin snižuje vodní potenciál a turgor rostlinné buňky, což zvyšuje koncentrace rozpuštěných látek v cytosolu a extracelulárních maticích. Za následek je pak považováno zmenšování buňky, což vede k inhibici růstu. Toto vede ke zmenšování listové plochy, kdy vlivem opadem listů je rostlina schopna udržet vodní potenciál listů nad prahovými hodnotami, čímž se vyhne vzniku kavitace za velkého deficitu vody /23/. Na tento proces následně navazuje hromadění kyseliny abscisové (ABA) a aminokyseliny prolin, což způsobuje vadnutí rostliny a snížení či ztrátu turgoru.

MATERIÁL A METODY

Pokus byl založen jako nádobový v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin ČZU v Praze. Řízky révy vinné byly zasazeny do plastových nádob o rozměru 5 × 5 cm s perlitem. Řízky odrůd 'Modrý Portugal', 'Müller Thurgau', 'Sauvignon' se dvěma pupeny byly získané z vinice sv. Kláry v Praze. Pokus byl zahájen po vyrašení 4-5 listů. Schéma pokusu zahrnovalo 5 variant. První varianta byla kontrolní, beze změny množství závlivky. Množství závlivkové vody 120 ml. U zbylých čtyř variant se závlivka snižovala. Množství vody činilo 90, 60, 30 a 15 ml na jednu nádobu. Rostliny byly zavlažovány v intervalu jednou za 3 dny.

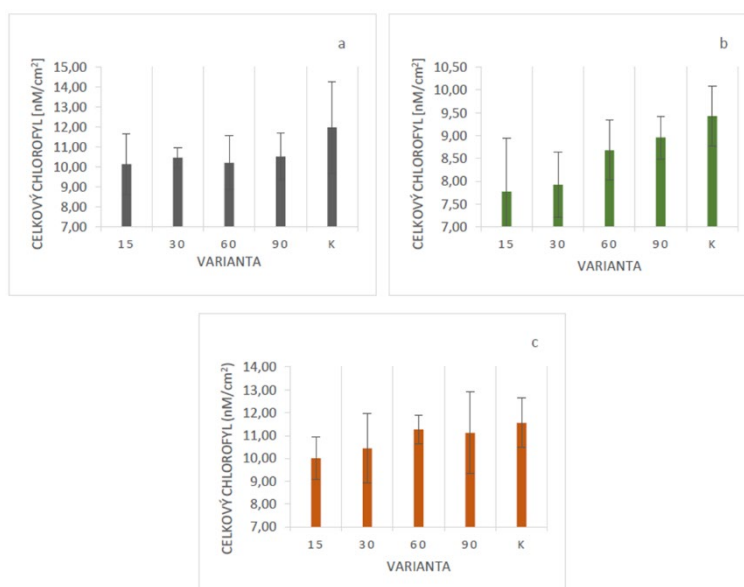
U rostlin révy vinné byly v týdenních intervalech měřeny tyto fyziologické charakteristiky: Obsah pigmentů a jejich fluorescence, rychlost výměny plynů a vodní potenciál. Obsah pigmentů byl stanoven dle metodiky /20/. Vzorky byly spektrofotometricky vyhodnoceny přístrojem UV-Vis Evolution 2000 (ThermoScientific). Pro zjišťování hodnot rychlosti výměny plynů, fotosyntézy (P_n) a transpirace (E), byl využit infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bioscientific Ltd.). Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo v dopoledních hodinách (8-13 h SEČ) při teplotě 25 °C a hustotě dopadajícího záření 650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Rychlost výměny plynů byla sledována na základě pokusů /12/. Pro měření parametrů fluorescence chlorofylu Fv/Fm byl využit fluorometr OS5p+ (OptiScience) na základě metodiky /21/.

Statistické vyhodnocení dat se uskutečnilo pomocí programu STATISTICA 13.5 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Variabilita rozdílů ve sledovaných parametrech byla testována dvoufaktorovým modelem ANOVA s interakcemi a Tukeyho post hoc testem na hladině významnosti $p < 0,05$.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z grafů 1 vyplývá, že nejvýraznější rozdíly v obsahu chlorofylů jsou u odrůdy 'Modrý Portugal', kdy nejvyšší obsah byl zjištěn u kontrolních rostlin (11,98 nM/cm²) a nejnižší u varianty 15 ml (10,15 nM/cm²). Naopak u odrůdy 'Sauvignon' se obsah chlorofylů v listech

v závislosti na působení vodního deficitu snížil nĚjmĚnĚ, neboť obsah celkovĚho chlorofylu byl 10,00 nM/cm² u varianty 15 ml aĹ 11,56 nM/cm² (kontrolnĚ varianta). GenotypovĚ rozdĚly v obsahu pigmentů v listech v zĚvislosti na působení vodnĚho deficitu popisujĚ také /13/. Z grafů je dĚle patrnĚ, Źe se sniŹujĚcĚ se mnoŹstvĚm zĚlĚvkovĚ vody dochĚzĚ u vŹech sledovanĚch odrůd rĚvy vinnĚ k poklesu obsahu pigmentů z důvodů jejich omezenĚ tvorby a poŹkozenĚ fotosyntetickĚho aparĚtu. ObodbnĚ zĚvĚry ve svĚch pracech uvĚdĚ např. /9, 19, 22/.

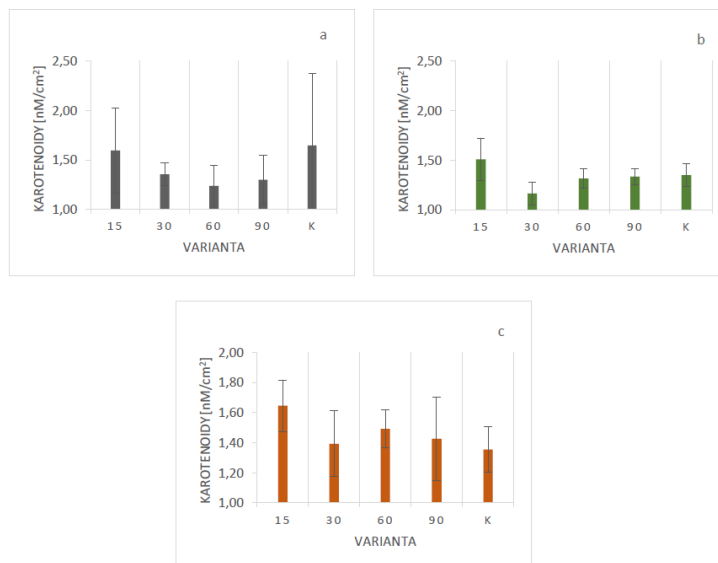


Graf. 1: ZmĚny obsahu celkovĚho chlorofylu (nM/cm²) v zĚvislosti na odrůdĚ a variantĚ. Legenda: a) odrůda 'Modrý Portugal', b) 'Müller Thurgau' a c) 'Sauvignon'.

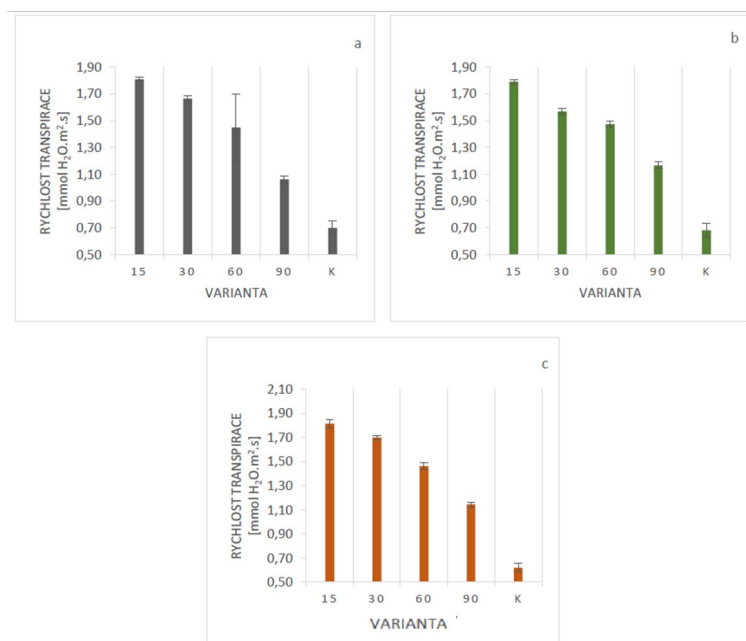
DalŹĚ mĚřenĚm parametrem byl obsah karotenoidů, jak dokumentujĚ grafy 2. Z nich vyplývá, Źe průkaznĚ rozdĚl v obsahu karotenoidů byl zjiŹtĚn u odrůdy 'Modrý Portugal'. U této odrůdy byl nejniŹŹĚ obsah karotenoidů namĚřen u varianty 60 ml (1,24 nM/cm²) a nejvyŹŹĚ u kontrolnĚch rostlin (1,65 nM/cm²). NejniŹŹĚ rozdĚl byl namĚřen u odrůdy 'Sauvignon', kdy procentuĚlnĚ rozdĚl mezi obĚma extrémnĚmi hodnotam ěinil 22,22 %, kdy nejniŹŹĚ obsah vykazovaly rostliny kontrolnĚ (1,35 nM/cm²) a nejvyŹŹĚ varianta s 15 ml vody (1,65 nM/cm²). Z vĚsledků je dĚle patrnĚ, Źe mnoŹstvĚ karotenoidů v listech bylo ovlivnĚno působenĚm vodnĚho deficitu, kdy u variant se sniŹenĚm objemem zĚlĚvky se obsah karotenoidů zvyŹoval. Dle /10/ dochĚzĚ vlivem působení stresorů ke zmĚnĚm v obsahu karotenoidů. UvedenĚ zĚvĚr byl potvrzen u vŹech odrůd. SnĹžení obsahu karotenoidů vlivem působení vodnĚho deficitu bylo potvrzeno v souladu s vĚsledky /9, 26/ u odrůd rĚvy vinnĚ 'Modrý Portugal' a 'Müller Thurgau'.

Je patrnĚ, jak dokumentujĚ grafy 3, Źe průkaznĚ rozdĚly v hodnotĚch rychlosti transpirace byly zjiŹtĚny u odrůdy 'Sauvignon'. U této odrůdy byla průkaznĚ nejniŹŹĚ hodnota namĚřena u kontrolnĚ varianty (0,62 mmol H₂O/m²/s) a naopak nejvyŹŹĚ u varianty 15 ml (1,81 mmol H₂O/m²/s). MeziodrůdovĚ rozdĚly v rychlosti transpirace odrůd rĚvy vinnĚ uvĚdĚ např. /1, 11/. Naopak neprůkaznĚ difference mezi variantami v rychlosti transpirace vykazuje odrůda 'Müller Thurgau'. Z uvedenĚch grafů vyplývá, Źe nejniŹŹĚ transpirace byla zaznamenĚna u vŹech rostlin pĚstovanĚch v kontrolnĚch podmĚnkĚch a naopak nejvyŹŹĚ ve variantĚ s 90 ml vody. SnĹžení rychlosti transpirace souvisĚ se ztrĚtou vody v listech, snĹženĚm vodnĚho potenciĚlu, ěimŹ

dochází k postupnému uzavírání průduchů. Uvedenou skutečnost ve své práci potvrzují např. /14/.



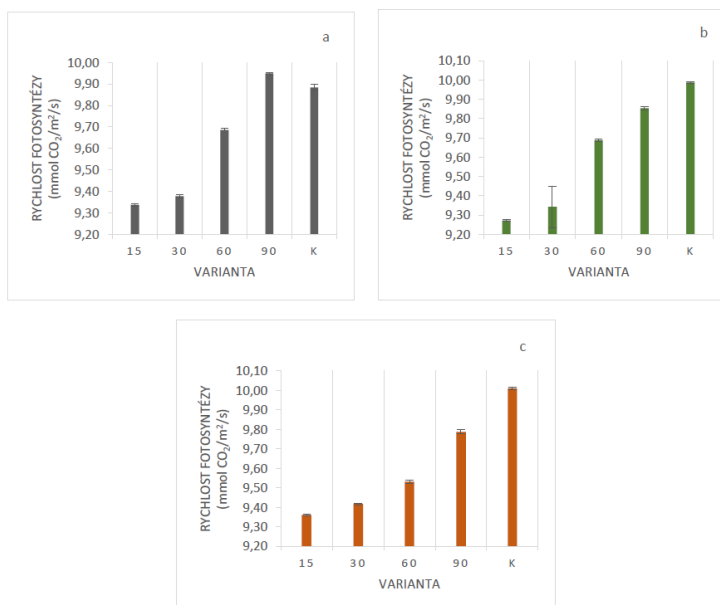
Graf 2: Změny obsahu karotenoidů (nM/cm²) v závislosti na odrůdě a variantě. Legenda: a) odrůda 'Modrý Portugal', b) 'Müller Thurgau' a c) 'Sauvignon'.



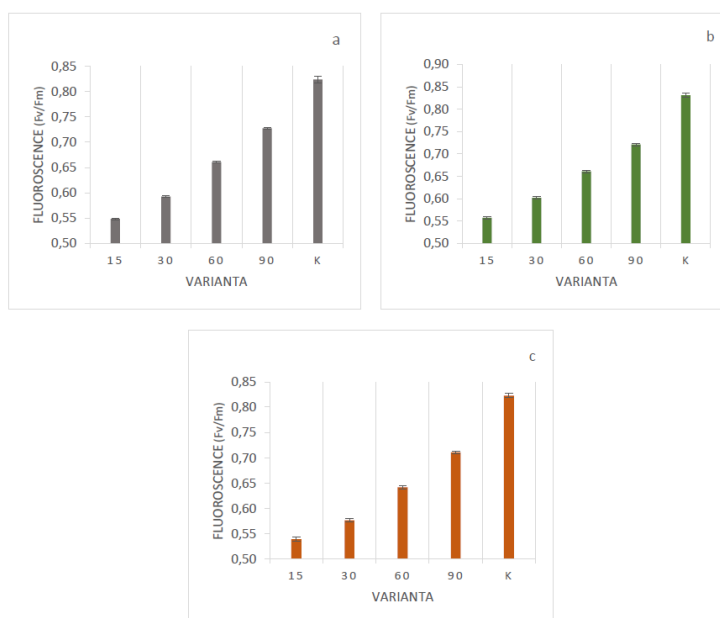
Graf 3: Změny rychlosti transpirace (mmol H₂O/m²/s) v závislosti na odrůdě a variantě. Legenda: a) odrůda 'Modrý Portugal', b) 'Müller Thurgau' a c) 'Sauvignon'.

Grafy 4 demonstrují změny rychlosti fotosyntézy sledovaných odrůd révy vinné v závislosti na variantě. Z nich je patrné, že statisticky nejnižší rozdíl v rychlosti fotosyntézy byl zjištěn u odrůdy 'Modrý Portugal'. U této odrůdy byla nejnižší průměrná rychlost fotosyntézy stanovena u varianty 15 ml (9,38 μmol CO₂/m²/s) a nejvyšší u varianty 90 ml (9,95 μmol CO₂/m²/s). Na straně druhé nejvyšší rozdíl mezi variantami byl zjištěn u odrůdy 'Müller Thurgau', kdy průměrné hodnoty fotosyntézy se pohybovaly v rozpětí hodnot. od 9,27 μmol CO₂/m²/s (varianta 15 ml) do 9,99 μmol CO₂/m²/s (kontrola). Genotypové rozdíly v reakci na

stres potvrzují také /1,4/. Z uvedených grafů je dále patrné, že nejnižší rychlost fotosyntézy mají rostliny stresované (15 a 30 ml) v porovnání s kontrolními rostlinami a se závlahou 90 ml. Snížení rychlosti fotosyntézy vlivem omezené závlahy v průběhu ontogenetického vývoje rostlin potvrzují např. /2, 5/.



Graf 4: Změny rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) v závislosti na odrůdě a variantě. Legenda: a) odrůda 'Modrý Portugal', b) 'Müller Thurgau' a c) 'Sauvignon'.



Graf 5: Změny fluorescence chlorofylů v závislosti na odrůdě a variantě. Legenda: a) odrůda 'Modrý Portugal', b) 'Müller Thurgau' a c) 'Sauvignon'.

Grafy 5 popisují změny fluorescence u pozorovaných odrůd v závislosti na variantě. Z grafů vyplývá, že statisticky nejmenší rozdíl v hodnotách fluorescence byl zjištěn u odrůdy 'Müller Thurgau'. Nejvyšší rozdíl mezi odrůdami byl naměřen u odrůd 'Modrý Portugal' a 'Sauvignon'. Z uvedených grafů je dále patrné, že nejnižší fluorescenci mají rostliny stresované

(15 a 30 ml) v porovnání s kontrolními rostlinami a se závlahou 90 ml. Z výsledků vyplývá, že u všech odrůd je možné zaznamenat pokles hodnot fluorescence v závislosti na stresu. Dle /3, 14/ dochází vlivem vodního deficitu dochází k poklesu hodnot fluorescence. Lze v souladu s prací /26/ konstatovat, že výrazný stres nastává u varianty s 15 ml vody.

ZÁVĚR

Výsledky potvrzují genotypové rozdíly v reakci na vodní stres, kdy odrůda 'Sauvignon' reagovala nejméně citlivě na podmínky vodního deficitu. Naopak odrůda 'Müller Thurgau' se jeví citlivou ke stresu z nedostatku vody. Existuje rozdíl ve fyziologii rostlin v závislosti na působení stresoru, neboť rostliny stresované vykazují nižší hodnoty sledovaných parametrů v porovnání s rostlinami kontrolními. Byl prokázán vliv omezené závlahy na sledované parametry vybraných odrůd révy vinné, kdy varianta s 15 ml způsobila nejvýraznější stres. Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že odrůda 'Sauvignon' se jeví vůči vodnímu deficitu tolerantní a naopak odrůda 'Müller Thurgau' citlivou.

LITERATURA

- /1/ Azri, W.; Jardak, R.; Cosette, P.; Guillou, C.; Riahi, J. et al., 2021: Physiological and proteomic analyses of Tunisian local grapevine. *Functional Plant Biology*, 49 (1): 25-39.
- /2/ Bertamini, M.; Zulini, L.; Muthuchelian, K.; Nedunchezian, N., 2006: Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44 (1): 151–154.
- /3/ Bertamini, M.; Zulini, L.; Zoher, R.; Muthuchelian, K.; Nedunchezian, N., 2007: Photoinhibition of photosynthesis in water deficit leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) plants. *Photosynthetica*, 45 (3): 426–432
- /4/ Cochetel, N.; Ghan, R.; Troups, H.S.; Degu, A.; Tillett, R.L. et al., 2020: Drought tolerance of the grapevine, *Vitis champinii* cv. Ramsey, is associated with higher photosynthesis and greater transcriptomic responsiveness of abscisic acid biosynthesis and signaling. *BMC Plant Biology*, 20 (1):1-25
- /5/ Escalona, J.M.; Flexas, J.; Bota, J.; Medrano, H., 2003: Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditio. *Vitis*, 42 (2): 57–64
- /6/ Gambetta, G.A.; Herrera, J.C.; Dayer, S.; Feng, Q.; Hochberg, U. et al., 2020: Corrigendum to: The physiology of drought stress in grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 71 (18): 5717.
- /7/ Gomes, M.T.G.; da Luz, A.C.; Rossi dos Santos, M.; Do Carmo Pimentel Batitucci, M.; Moura Silva, D.; Falqueto, A.R., 2012: Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transient. *Scientia Horticulturae*, 142: 49–56.
- /8/ Chaves, M.M.; Zarrouk, O.; Francisco, R.; Costa, J.M.; Santos, T. et al., 2010: Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105 (5): 661-676.
- /9/ Jiao, S.; Zeng, F.; Huang, Y.; Zhang, L.; Mao, J. et al., 2023: Physiological, biochemical and molecular responses associated with drought tolerance in grafted grapevine. *BMC Plant Biology*, 23 (1).
- /10/ Karami, L.; Ghaderi, N.; Javadi, T., 2017: Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulturae*, 29 (2): 231-240.
- /11/ Kolyva, F.; Nikolopoulos, D.; Bresta, P.; Liakopoulos, G.; Karabourniotis, G. et al., 2023: Acclimation of the Grapevine *Vitis vinifera* L. cv. Assyrtyko to Water Deficit: Coordination of Structural and Functional Leaf Traits and the Dynamic of Calcium Oxalate Crystals. *Plants*, 12 (23).
- /12/ Kuklova, M.; Hnilickova, H.; Kukla, J.; Hnilicka, F., 2015: Environmental impact of the Al smelter on physiology and macronutrient contents in plants and Cambisols. *Plant, Soil and Environment*, 61 (2): 72–78.
- /13/ Lin, Y.; Liu, S.; Fang, X.; Ren, Y.; You, Z. et al., 2023: The physiology of drought stress in two grapevine cultivars: Photosynthesis, antioxidant system, and osmotic regulation responses. *Physiologia Plantarum*, 175 (5): 1-21
- /14/ Maroco, J.P.; Rodrigues, M.L.; Lopes, C.; Chaves, M.M., 2002: Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought —metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Biology*, 29 (4).
- /19/ Nazir, F.; Ahmad, T.; Malik, S.I.; Ahmed, M.; Bashir, M.A. et al., Wild grapevines as rootstock regulate the oxidative defense system of in vitro grafted scion varieties under drought stress. *PLOS ONE*, 17 (9).
- /20/ Porra, R.J.; Thompson, W.A.; Kriedemann, P.E., 1989: Determination of Accurate Extinction Coefficients and Simultaneous Equations for Assaying Chlorophylls a and b Extracted with Four Different Solvents:

- Verification of the Concentration of Chlorophyll Standards by Atomic Absorption Spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 975 (3): 384–394.
- /21/ Roháček, K.; Barták, M., 1999: Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications. *Photosynthetica*, 37 (3): 339-363.
- /22/ Rustoni, L.; Bianchi, D., 2021: Drought increases chlorophyll content in stems of *Vitis* interspecific hybrids. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33 (1): 69-78.
- /23/ Tyree, M.T.; Sperry, J.S., 1988: Do Woody Plants Operate Near the Point of Catastrophic Xylem Dysfunction Caused by Dynamic Water Stress? *Plant Physiology*, 88 (3): 574-580.
- /24/ Van Leeuwen, C.; Trégoat, O.; Choné, X.; Bois, B.; Pernet, D. et al., 2016: Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *OENO One*, 43 (3): 121-134.
- /25/ Zufferey, V.; Verdenal, T.; Dienes, A.; Belcher, S.; Lorenzini, F. et al., 2018: The impact of plant water status on the gas exchange, berry composition and wine quality of Chasselas grapes in Switzerland. Online. *OENO One*, 52 (4).
- /26/ Zulini, L.; Rubinigg, M.; Zoher, R.; Bertamini, M., 2007: Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments in grapevine leaves (*Vitis vinifera* cv. 'White riesling'). *Acta Horticulturae*, 754: 289-294.

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory projektu NAZV QK21010189: Implementace ekosystémových služeb se zaměřením na vodní bilanci ve vinohradnické praxi

VLIV FYTOHORMONŮ NA VODNÍ DEFICIT U RAJČAT

EFFECT OF PHYTOHORMONES ON WATER DEFICIT IN TOMATOES

Jaromír Janoušek, Zuzana Kovalíková

Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Katedra biologie, Rokytanského 62, 500 03 Hradec Králové, jaromir.janousek@uhk.cz

Summary

In a container experiment, the effect of phytohormones on tomato plants that were exposed to drought stress was monitored. Plants were treated with abscisic acid and epibrassinolide. The rate of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, chlorophyll content, superoxide, hydrogen peroxide, malondialdehyde and proline were measured.

Key words: drought, ABA, EPI, tomatoes, photosynthesis

Souhrn

V nádobovém pokusu byl sledován vliv fytohormonů na rostlinách rajčat, které byly vystaveny působení stresu ze sucha. Rostliny byly ošetřeny kyselinou abscisovou a epibrassinolidem. Byla měřena rychlost fotosyntézy, fluorescence chlorofylu, obsah chlorofylu, superoxidu, peroxidu vodíku, malondialdehydu a prolinu.

Klíčová slova: Sucho, ABA, EPI, rajčata, fotosyntéza

ÚVOD

Ze všech abiotických faktorů, které omezují růst a produktivitu rostlinstva je nejvýznamnější nedostatek vody. Sucho spouští širokou škálu reakcí, od změn genové exprese a buněčného metabolismu až po změny v rychlosti růstu, diferenciaci nebo příjmu živin /16/. Snížení nebo inhibice fotosyntézy je jedním z hlavních účinků sucha u vyšších rostlin. Její aktivita může být redukována třemi způsoby: 1) Uzavřením listových průduchů, které snižuje transpiraci, přičemž dochází k omezení výměny plynů a snížené asimilaci CO₂. 2) Redukcí aktivity chloroplastů a toku elektronů ve světelných reakcích fotosyntézy. 3) Snížením syntézy a aktivity enzymů, které se uplatňují v tmavých procesech fotosyntézy /10/. Vodní deficit způsobuje nesoulad mezi absorbovaným světlem a dostupným CO₂, což vede ke zvýšenému přenosu elektronů na kyslík a zvýšené míře tvorby reaktivních forem kyslíku (ROS). Dochází k poškození asimilačních pigmentů, zejména chlorofylů. Naopak ztráty karotenoidů nejsou tak patrné, neboť mohou přímo zabránit nadprodukci ROS /24/. ROS také poškozují strukturu a funkci buněčných membrán prostřednictvím peroxidace membránových lipidů, což vede k nerovnováze buněčné homeostázy a v extrémních případech k buněčné smrti /3/. Při peroxidaci lipidů se akumuluje několik produktů, mezi nimiž lze rychle a snadno stanovit malondialdehyd (MDA), a proto je považován za možný indikátor schopnosti rostlin snášet stres suchem /25/.

Během deficitu vody je potřeba udržovat tlak turgoru zvýšenou syntézou osmoprotektantů a osmolytů. Jedním z nich je prolin, který se podílí na udržování buněčného turgoru, osmotické úpravě, stabilizaci subcelulárních struktur, membrán a proteinů a ochraně buněčných funkcí vychytáváním ROS /1, 18/.

Reakce na stres mohou být modulovány fytohormony, jako je kyselina abscisová (ABA) nebo brassinolidy, které v nízkých koncentracích hrají důležitou roli při zmírňování negativních dopadů stresu /21/. Mnohé experimenty poukázaly, že jejich exogenní aplikace vedla k zvýšení tolerance, a to snížením obsahu ROS, zvýšením aktivity antioxidantů, udržením integrity membrány nebo zvýšenou aktivitou fotosyntetických enzymů /2,4/.

Rajče (*Solanum lycopersicum* L.) je celosvětově považováno za jednu z nejdůležitějších hospodářských plodin a nedostatek vody vede k obrovským ztrátám produkce. Odpovědi na nedostatek vody během životního cyklu se různí vzhledem na míru citlivosti nebo tolerance jednotlivých kultivarů. Proto je pro zlepšení efektivity produkce nutné prozkoumat fyziologické reakce na sucho a následný mechanismus regenerace. Právě použití fytohormonů tak může představovat alternativní platformu pro selekci adaptovaných a/nebo odolných kultivarů. Proto cílem studie bylo zhodnotit, zda exogenně aplikované fytohormony ABA a epibrassinolid (EPI) mají potenciál zmírňovat negativní vliv podmínek sucha na rostliny rajčat.

MATERIÁL A METODA

Tyčková rajčata (*Solanum lycopersicum* L.) odrůdy Tornádo F1 (NOHEL GARDEN) a Stupické polní ranné (MoravoSeed) byly pěstovány v nádobách (1,5 l) se zahradnickým substrátem (AGRO) v růstové komoře Fytotron při 16 h fotoperiodě, 22 °C a 55% vlhkosti vzduchu. 30denní rostliny byly rozděleny do 5 variant: kontrolní (K), vystavené suchu (S), ošetřené ABA (100 μM) a vystavené suchu (ABA + S), ošetřené EPI (3 μM) a vystavené suchu (EPI + S) a ošetřené kombinaci hormonů a vystavené suchu (AE + S). Kontrolní varianta byla zalévána každých 48 h kohoutkovou vodou, zatímco stresované varianty byly opakovaně rehydratovány pouze po 168 h sucha. Vzorky byly odebírány každých 168 h, celkově proběhly 4 odběry v rámci 21 dnů.

Rychlost fotosyntézy (A), transpirace (E) a stomatální vodivosti (gs) byly měřeny pomocí infračerveného analyzátoru plynů Li-COR LI-6800 (Licor, USA). Obsah peroxidu vodíku (410 nm), superoxidového radikálu (530 nm), MDA (532 nm), prolinu (520 nm) a asimilačních pigmentů (750, 666, 653, 470, 435, 415 nm) byl stanoven spektrofotometricky /Kovalíková et al., 2020/.

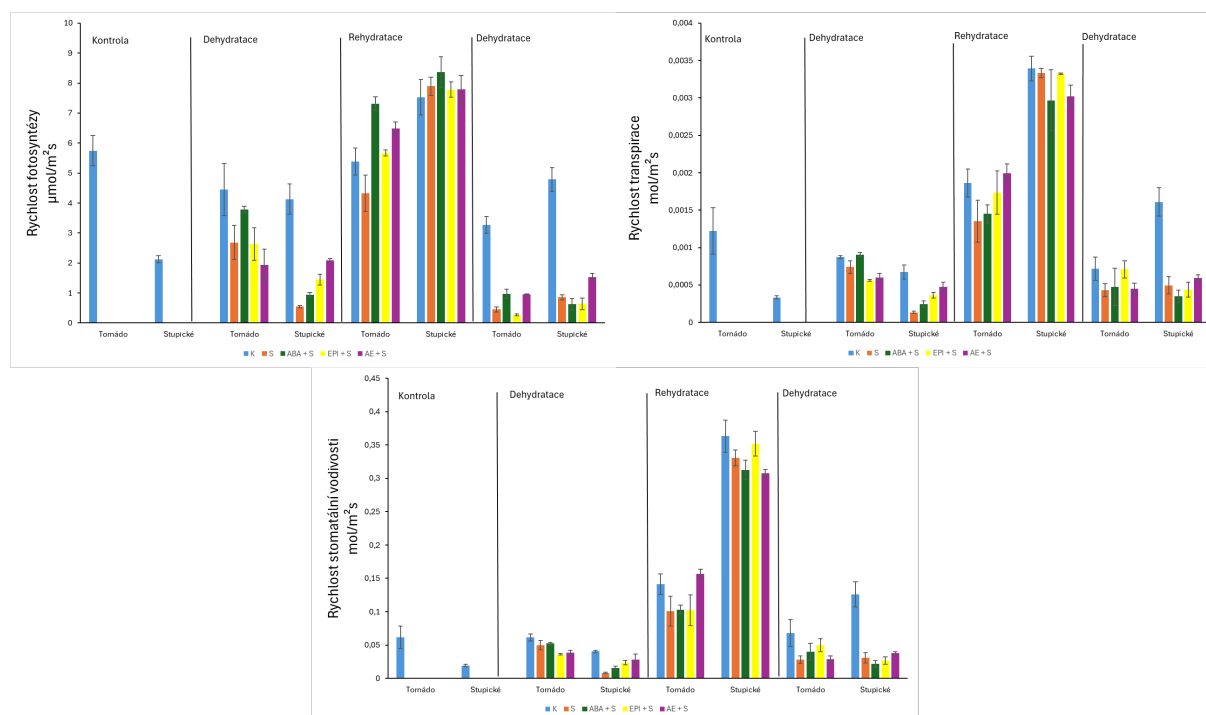
Výsledky byly statisticky zpracovány v programu GraphPad Prism 9 (LLC, San Diego, CA, USA).

VÝSLEDKY A DISKUZE

Fotosyntetické parametry (Graf 1) se v důsledku rostoucího sucha celkově snížily. Po první vlně dehydratace byly u varianty ABA + S pro Tornádo zaznamenány nejvyšší rychlosti fotosyntézy (3,77 μmol/m/s), transpirace (0,0009 μmol/m/s) i vodivosti průduchu (0,0523 μmol/m/s). Nejnížší hodnoty fotosyntézy byly pozorovány u varianty EPI + S pro Tornádo (0,26 μmol/m/s), transpirace (0,0001 μmol/m/s) a vodivosti průduchů u (0,0079 μmol/m/s) u varianty S pro Stupické. Aplikace ABA tak celkově přispěla ke zvýšení rychlosti fotosyntetických parametrů.

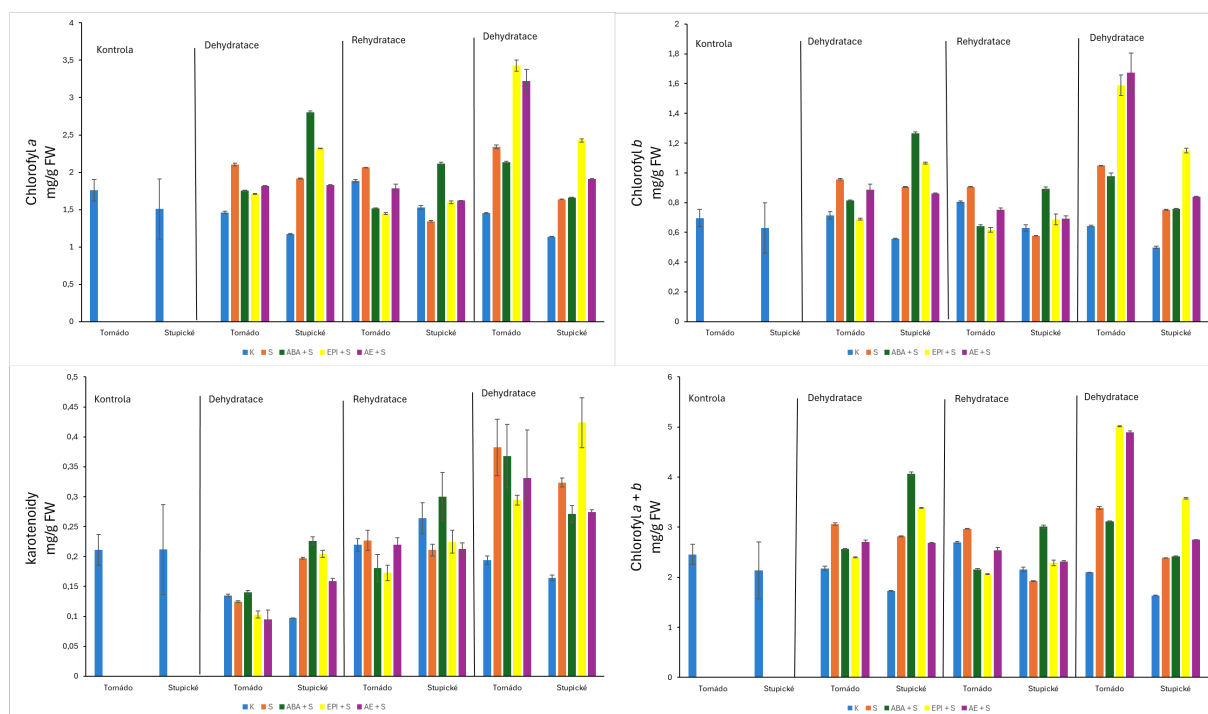
Chlorofyl (Graf 2) hraje klíčovou roli v průběhu fotosyntézy. Chlorofyl a je hlavní pigment, zatímco chlorofyl b a karotenoidy pomáhají rostlinám rozšiřovat absorpční spektrum slunečního světla. Zachycenou sluneční energii přeměňují na chemickou, která je následně využívána ve světelných reakcích fotosyntézy a Calvinově cyklu. Nejvyšší naměřený obsah chlorofylu a byl zaznamenán u EPI + S pro Tornádo (3,42 mg/g FW) po druhé dehydrataci,

nejnižší pro variantu S u Stupické (1,63 mg/g FW) po druhé dehydrataci. Chlorofyl b dosáhl maxima u AE + S pro Tornádo (1,67 mg/g FW) po druhé dehydrataci, naopak minima u EPI + S pro Tornádo (0,68 mg/g FW) po první dehydrataci. Maximální hodnoty karotenoidů byly pozorovány u Stupického rajčata u varianty EPI + S (0,42 mg/g FW) po druhé dehydrataci, naopak minimální hodnoty AE + S pro Tornádo (0,09 mg/g FW) po první dehydrataci. Nedostatek vody zvýšil produkci fotosyntetických pigmentů, přičemž tuto akumulaci ještě podpořila exogenní aplikace EPI a kombinace ABA + EPI, více pro Tornádo v druhé vlně sucha. V první vlně tento trend podpořilo ošetření ABA u rostlin Stupické.



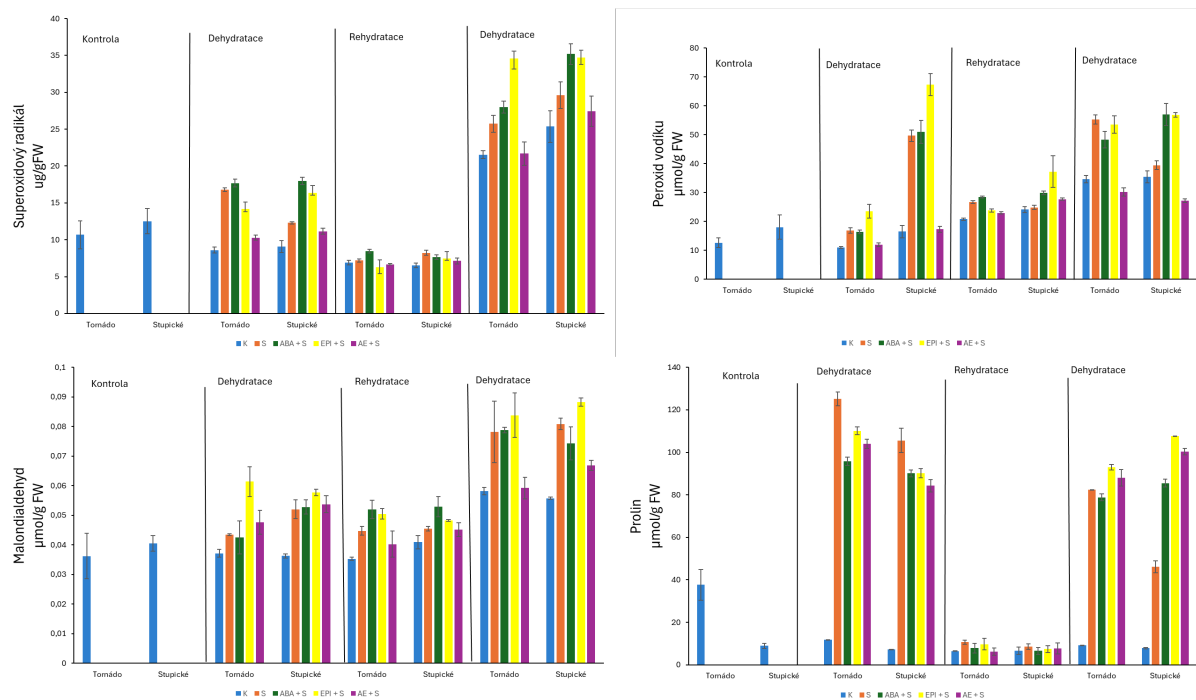
Graf 1 Rychlost fotosyntézy, transpirace a vodivost průduchu dvou kultivarů rajčat vystavených dehydrataci a rehydrataci.

Nejčasnější reakcí rostlin během působení stresorů je nadprodukce ROS. Různé druhy rostlin (dokonce i genotypy) reagují na stres různou mírou, což se poté může projevit odlišnou akumulací sledovaných ROS. Je známo, že genotypy citlivé na sucho různých rostlinných druhů reagují na stres zvýšenou mírou produkce ROS. Nejvyšší hodnoty peroxidu vodíku (Graf 3) byly zjištěny u EPI + S pro Stupické (67,36 $\mu\text{mol/g FW}$) po první dehydrataci, nejnižší mimo kontrolu u AE + S pro Tornádo (11,98 $\mu\text{mol/g FW}$) po první dehydrataci. Hladina superoxidového radikálu (Graf 3) se zvyšovala s prohlubujícím se suchem, kdy maximální hodnota byla zjištěna pro variantu ABA + S u Stupické (35,19 $\mu\text{g/g FW}$) po druhé dehydrataci a minimální u varianty EPI + S pro Tornádo (10,28 $\mu\text{g/g FW}$) po první dehydrataci. Míru poškození buněčných membrán odrážel obsah MDA (Graf 3) v listech rostlin, který vzrůstal v důsledku vyšší intenzity nedostatku vody. Maxima dosáhl po období druhé dehydratace u EPI + S pro Stupické (0,08 $\mu\text{mol/g FW}$), zatímco minimum bylo zjištěno mimo kontrolu a období po rehydrataci u varianty ABA + S pro Tornádo (0,04 $\mu\text{mol/g FW}$) po první dehydrataci. Výsledky jednoznačně poukazují na fakt, že samostatné ošetření ABA a EPI vedlo ke zvýšení hladin sledovaných parametrů, zatímco ošetření kombinací těchto hormonů převážně vedlo ke snížení stresových markerů, a to až na úroveň kontrolních rostlin.



Graf 2 Obsah asimilačních pigmentů dvou kultivarů rajčat vystavených dehydrataci a rehydrataci.

Obsah prolinu (Graf 3), jehož role spočívá v ochraně buněčných funkcí, vzrůstal se zvyšujícím se nedostatkem vody. Nejvyšší naměřené hodnoty byly zjištěny u varianty S pro Tornádo (125,10 $\mu\text{mol/g FW}$) po první dehydrataci, naopak nejnižší u varianty S pro Stupické (46,20 $\mu\text{mol/g FW}$) po druhé dehydrataci. Ze získaných dat vyplývá, že léčba fytohormony během první vlny dehydratace přispěla ke snížení hladin prolinu vůči neošetřeným rostlinám, v druhé vlně dehydratace naopak přispěli ke zvýšení obsahu prolinu, zejména aplikace EPI.



Graf 3 Obsah peroxidu vodíku, superoxidového radikálu, malondialdehydu a prolinu dvou kultivarů rajčat vystavených dehydrataci a rehydrataci.

Hladiny stresových parametrů (peroxidu vodíku, superoxidového radikálu, MDA a prolinu) vzrůstaly v důsledku prohlubujícího se sucha /3,6,25/. Uvádí se /17/, že exogenní aplikace EPI způsobila snížení aktivity antioxidantních enzymů, zejména askorbátperoxidázy a katalázy, což by v našem případě vysvětlovalo zvýšené hodnoty superoxidového radikálu a peroxidu vodíku. Ukázalo se, že kombinace EPI a ABA, významně snížila hladiny MDA, než samostatně působící fytohormony /5,7/. Celkově vyšších hodnot dosahovali rostliny kultivaru Stupické, zatímco u rajčat kultivaru Tornádo byly pozorovány nižší hladiny, s výjimkou pro prolin. Již dříve bylo poukázáno /12,13/ na fakt, že pro kultivary odolnější vůči suchu jsou typické zvýšené hladiny prolinu, proto předpokládáme, že rajčata Tornádo vykazují do jisté míry zvýšenou odolnost vůči nedostatku vody. Obsah fotosyntetických pigmentů vzrostl při vystavení rostlin rajčat suchu. Dříve bylo uvedeno, že koncentrace některých karotenoidů a fotosyntetických pigmentů klesá pod vodním stresem, zatímco jiné se progresivně zvyšují /11/. V našem případě vzrostl obsah asimilačních pigmentů při vystavení suchu. Navíc ošetření fytohormony toto navýšení podpořilo. Další studie uvádí, že aplikace ABA přispěla ke zvýšení obsahu chlorofylů, podobně jako v našem případě, nicméně k vyšší akumulaci přispěl samotný EPI a kombinace námi použitých fytohormonů /15/.

V důsledku nedostatku vody docházelo ke snížení fotosyntetických parametrů /22/. Aplikace fytohormonů podpořila zvýšení rychlosti těchto parametrů. Již dříve se došlo k podobným výsledkům, co se týče ošetření ABA /23/.

ZÁVĚR

Z výsledků je patrné, že odrůda Tornádo F1 se jeví jako odolnější vůči nedostatku vody než odrůda rajčat Stupické polní ranné. Navíc data poukazují na fakt, že kombinace ABA a EPI je účinnější než jejich samostatná aplikace.

LITERATURA

- /1/ Amini S, Ghobadi C, Yamchi A (2015) Proline Accumulation and Osmotic Stress: An Overview of P5CS Gene in Plants. *J Plant Mol Breed* 3:44–55. <https://doi.org/10.22058/jpmb.2015.17022>
- /2/ Asghar MA, Li Y, Jiang H, Sun X, Ahmad B, Imran S, Yu L, Liu C, Yang W, Du J (2019) Crosstalk between Abscisic Acid and Auxin under Osmotic Stress. *Agron J* 111:2157–2162. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0633>
- /3/ Demidchik V (2015) Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology, *Environ Exp Bot* 109:212–228. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021>
- /4/ Chen J, Nolan T, Ye H, Zhang M, Tong H, Xin P, Yin Y (2017) Arabidopsis WRKY46, WRKY54 and WRKY70 transcription factors are involved in brassinosteroid-regulated plant growth and drought response. *Plant Cell* 29:1425–1439. <https://doi.org/10.1105/tpc.17.00364>
- /5/ Chen Z, Wang Z, Yang Y, Li M, Xu B (2018) Abscisic acid and brassinolide combined application synergistically enhances drought tolerance and photosynthesis of tall fescue under water stress. *Sci Hortic* 228:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.004>
- /6/ Chen M, Zhu X, Liu X, Wu C, Yu C, Hu G, Chen L, Chen R, Bouzayen M, Zouine M, Hao Y (2021) Knockout of Auxin Response Factor SlARF4 Improves Tomato Resistance to Water Deficit, *International Journal of Molecular Sciences* 22:7:3347. <https://doi.org/10.3390/ijms22073347>
- /7/ Jangid KK, Dwivedi P (2017) Physiological and biochemical changes by nitric oxide and brassinosteroid in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drought stress. *Acta Physiol Plant* 39:73. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2373-1>
- /8/ Kohzuma K, Cruz JA, Akashi K, Hoshiyasu S, Munekage YN, Yokota A, Kramer DM (2009) The long-term responses of the photosynthetic proton circuit to drought. *Plant, Cell, Environment*, 32:3:209–219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01912.x>
- /9/ Kovalikova Z, Jiroutova P, Toman J, Dobrovolna D, Drbohlavova L (2020) Physiological Responses of Apple and Cherry In Vitro Culture under Different Levels of Drought Stress. *Agronom*, 10:1689. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111689>
- /10/ Liang G, Liu J, Zhang J, Guo J (2020) Effects of Drought Stress on Photosynthetic and Physiological Parameters of Tomato. *Horticultural Science*, 145:1:12–17. <https://doi.org/10.21273/JASHS04725-19>

- /11/ Mibei EK, Ambuko J, Giovannoni JJ, Onyango AN, Owino WO (2016) Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to drought stress. *Food Science and Nutrition* 5:1:113-122. <https://doi.org/10.1002/fsn3.370>
- /12/ Moles TM, Mariotti L, De Pedro LF, Guglielminetti L, Picciarelli P, Scartazza A (2018) Drought induced changes of leaf-to-root relationships in two tomato genotypes. *Plant Physiol Biochem* 128:24-31. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.008>
- /13/ Montesinos-Pereira D, Barrameda-Medina Y, Romero L, Ruiz JM, Sanchez-Rodriguez E (2014) Genotype differences in the metabolism of proline and polyamines under moderate drought in tomato plants. *Plant Biol* 16:1050-1057. <https://doi.org/10.1111/plb.12178>
- /14/ Pál M, Tajti J, Szalai G, Peeva V, Véghe B, Janda T (2018) Interaction of Polyamines, Abscisic Acid and Proline under Osmotic Stress in the Leaves of Wheat Plants. *Sci Rep* 8:12839. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31297-6>
- /15/ Sankar B, Karthiashwaran K, Somasundaram R (2013) Photosynthetic pigment content alterations in *Arachis hypogaea* L. in relation to varied irrigation levels with growth hormone and triazoles. *Journal of Ecobiotechnology* 5:7-13.
- /16/ Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Ali N, Akmal M, Alotaibi M, Refay Y, Dindaroglu T, Abdul-Wajid HH, Battaglia ML (2021) Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants* 10:259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- /17/ Soares C, De Sousa A, Pinto A, Azenha M, Teixeira J, Azevedo RA, Fidalgo F (2016) Effect of 24-epibrassinolide on ROS content, antioxidant system, lipid peroxidation and Ni uptake in *Solanum nigrum* L. under Ni stress, *Environmental and Experimental Botany*, 122:115-125. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.09.010>
- /18/ Szepesi Á. et Szöllösi R. 2018: Mechanism of Proline Biosynthesis and Role of Proline Metabolism Enzymes Under Environmental Stress in Plants, *Plant metabolites and regulation under environmental stress*, 337-353. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00017-0>
- /19/ Tanveer M, Shahzad B, Sharma A, Khan EA (2019) 24-Epibrassinolide application in plants: An implication for improving drought stress tolerance in plants. *Plant Physiol Biochem* 135:295-303. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.013>
- /20/ Ullah A, Manghwar H, Shaban M, Khan AH, Akbar A, Ali U, Ali E, Fahad S (2018) Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environ Sci Pollut Res* 25:33103–33118. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3364-5>
- /21/ Wahab A, Abdi G, Saleem MH, Ali B, Ullah S, Shah W, Mumtaz S, Yasin G, Muresan CC, Marc RA (2022) Plants' Physio-Biochemical and Phyto-Hormonal Responses to Alleviate the Adverse Effects of Drought Stress: A Comprehensive Review. *Plants* 11:1620. <https://doi.org/10.3390/plants11131620>
- /22/ Wang Z, Li G, Sun H, Ma L, Guo Y, Zhao Z, Gao H, Mei L (2018) Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biol Open* 7:11. [10.1242/bio.035279](https://doi.org/10.1242/bio.035279)
- /23/ Yan Z, Li Q, Tang Y (2016) Effects of exogenous abscisic acid on photosynthesis of Lettuce under NaCl Stress. *ResearchGate*. [10.2991/iceep-16.2016.62](https://doi.org/10.2991/iceep-16.2016.62)
- /24/ Zivcak M, Brestic M, Balatova Z, Drevenakova P, Olsovska K, Kalaji HM, Yang X, Allakhverdiev S (2013) Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. *Photosynth Res* 117, 529–546. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9885-3>
- /25/ Zhang Y, Luan Q, Jiang J, Li Y (2021) Prediction and Utilization of Malondialdehyde in Exotic Pine Under Drought Stress Using Near-Infrared Spectroscopy. *Front Plant Science* 12:735275. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.735275>

Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného projektu 2105/2024 Specifického výzkumu Přírodovědecké fakulty UHK.

FYZIOLOGICKÉ ASPEKTY KADMIOVÉHO STRESU V SKORÝCH ŠTÁDIÁCH VÝVINU PRI HYDROPONICKY PESTOVANEJ SLNEČNICI

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF CADMIUM STRESS IN THE EARLY STAGES OF DEVELOPMENT IN HYDROPONICALLY GROWN SUNFLOWER

Roman Kuna, Viktória Borguľová, Peter Boleček

Katedra botaniky a genetiky, FPVaI UKF, Nábřežie mládeže 91, 949 01 Nitra, Slovenská republika,
e-mail: rkuna@ukf.sk

Summary

In this work we focused on evaluating the impact of cadmium, at concentrations of 1 and 3 mg/l Cd, on sunflower plants (hybrid P64HE118) grown hydroponically. After 3 weeks of cultivation, we took samples of leaves and roots to determine some parameters of oxidative stress. We noted statistically significant differences mainly in the rate of cell death and increase of lipid peroxidation of leaves and roots, in accordance of higher Cd concentration. At the same time, we noted that the concentration of 3mg/l Cd had a significantly negative effect on the total size of the leaf area, the concentration of H₂O₂, the rate of cell death in leaves and lipid peroxidation in leaf and root samples. The results show the high sensitivity of plants to small changes in Cd concentration in the substrate, with hydroponics being the main factor, compared to soil, where even many times higher changes in Cd concentration may not show a significant difference.

Key words: Helianthus annuus, cadmium, oxidative stress, hydroponics

Súhrn

V práci sme sa zamerali na hodnotenie vplyvu kadmia, pri koncentráciách 1 a 3 mg/l Cd, na rastliny slnečnice (hybrid P64HE118) pestované hydroponicky. Po 3 týždňoch kultivácie sme odobrali vzorky listov a koreňov na stanovenie niektorých parametrov oxidačného stresu. Štatisticky významné rozdiely sme zaznamenali hlavne pri miere bunkovej smrti a peroxidácii lipidov listov aj koreňov, kde sme zaznamenali zvýšenie v meraných parametroch so zvýšením koncentrácie Cd. Zároveň sme zaznamenali, že koncentrácia 3 mg/l Cd mala výrazne negatívny vplyv na celkovú veľkosť listovej plochy, koncentráciu H₂O₂, mieru bunkovej smrti v listoch a peroxidáciu lipidov vo vzorkách listov a koreňov. Výsledky poukazujú na vysokú citlivosť rastlín na nepatrné zmeny koncentrácie Cd v substráte, pričom hlavným faktorom je hydroponia, v porovnaní s pôdou, kde sa ani mnohonásobne vyššie zmeny v koncentrácii Cd nemusia prejavovať významným rozdielom.

Kľúčové slová: Helianthus annuus, kadmium, oxidačný stres, hydroponia

ÚVOD

Slnečnica ročná (*Helianthus annuus*) je poľnohospodársky významná plodina. Jej schopnosť hyperakumulácie Cd a iných kovov z pôd predstavuje riziko z hľadiska vstupu ťažkých kovov do potravinového reťazca. Zároveň sa v posledných dekádach výskumy začali zameriavať na jej remediačný potenciál pri fytoextrakcii ťažkých kovov z pôd. Jej vysoká odolnosť proti stresu vyvolanom ťažkými kovmi, skombinovaná so schopnosťou akumulovať relatívne veľké množstvá kovových iónov a vysokou produkciou biomasy, sú zodpovedné za jej vhodnosť pre extrakciu kadmia, olova a zinku z pôdy [1]. Tvorba ROS po chemickej alebo fyzikálnej aktivácii kyslíka je v

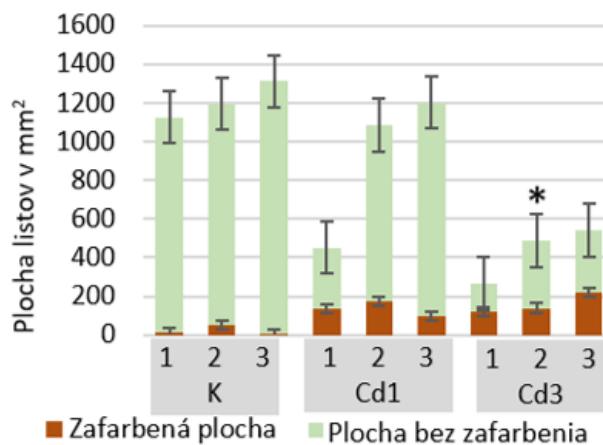
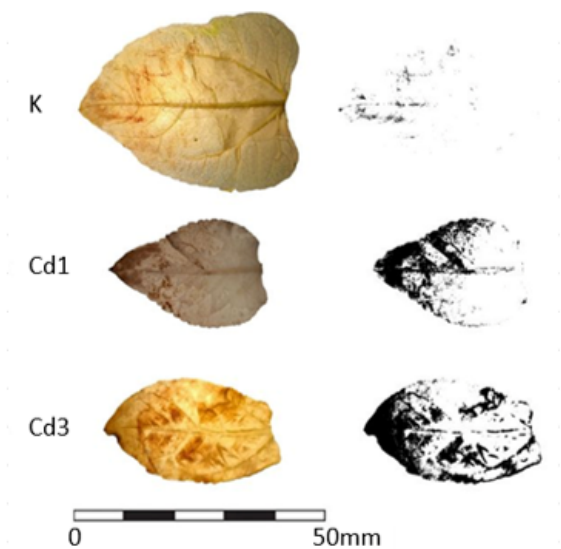
rastlinách následok nielen pôsobenia abiotických a biotických stresových faktorov, ale aj fyziologických dejov, ktoré sú pre rastlinu nevyhnutné. Oxidačný stres nastáva v prípade, kedy je rovnováha medzi tvorbou a elimináciou ROS narušená. Toxický účinok Cd sa prejavuje práve narušením tejto rovnováhy zvýšením tvorby ROS a zvýšením oxidačného stresu. Medzi najvýznamnejšie ROS zaraďujeme superoxidový aniónový radikál (superoxid, $O_2^{\cdot-}$), hydroxylový radikál (OH.), singletový kyslík (1O_2) a peroxid vodíka (H_2O_2). V dôsledku zvýšenej hladiny ROS dochádza k peroxidácii membránových lipidov, čoho priamym indikátorom je malondialdehyd (MDA), jeden z konečných produktov tohto procesu. H_2O_2 je v rámci ROS najstabilnejšia molekula s hlavnými miestami vzniku najmä v chloroplastoch a mitochondriách. V rastlinných bunkách je cez membrány transportovaný akvaporínmi, čo mu umožňuje rýchle šírenie v pletivách a vyvolanie oxidačného stresu vo vzdialenejších miestach. Na jeho odstránení zúčastňujú kataláza, glutatiónperoxidáza a askorbátperoxidáza /2/.

MATERIÁL A METÓDA

Semená slnečnice sme nechali po imbibícii klíčiť v papierových roľkách v kadičke s destilovanou vodou pri teplote 24 °C, v tme. Po 3 dňoch klíčenia sme do tmavých nádob s Hoaglandovým živným roztokom presunuli 10 vhodných klíčnych rastlín. Kadmiové varianty sme vytvorili použitím $CdCl_2$ v koncentráciách 1 a 3 mg Cd/l. Živné roztoky boli počas kultivácie prevzdušňované. Rastliny sme kultivovali v klimaboxe pri teplote 25 °C, fotoperióde 12/12 po dobu troch týždňov. Na spektrofotometrické stanovenie bunkovej smrti, obsahu H_2O_2 a peroxidácie lipidov sme odobrali vzorky koreňov a druhých listov. Na histochemické stanovenie prítomnosti H_2O_2 sme odobrali tretie listy. Na zhodnotenie tvorby H_2O_2 in situ farbením sme využili 3,3'-diaminobenzidín (DAB) podľa metodiky /3/. Zafarbenie sme kvantifikovali pomocou softvéru ImageJ2/Fiji v 1.54 h. Životaschopnosť buniek v listoch a koreňoch (1,5 g) sme merali na základe absorpcie činidla – Evansova modrá (EB) podľa /4/. Obsah H_2O_2 sme stanovili vo vzorkách listov a koreňov (0,2 g) podľa metódy /5/. Peroxidáciu lipidov v listoch aj koreňoch (0,2 g) sme merali ako obsah MDA podľa metodiky /6/. Všetky spektrofotometricky získané výsledky sme vyhodnotili pomocou nami vytvorených štandardných kriviek a štatistickú analýzu sme realizovali pomocou dvojvýberového t-testu s nerovnosťou rozptylu ($p < 0,05$).

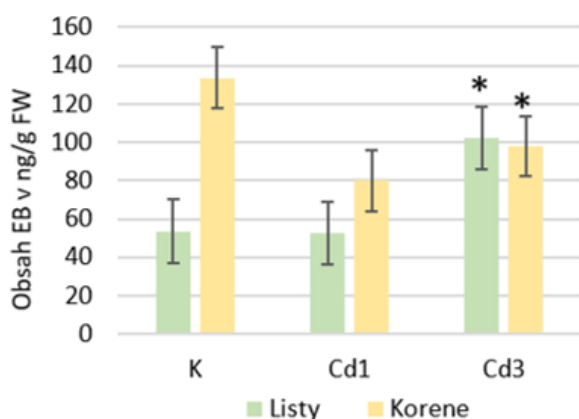
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Peroxid vodíka je jedným z hlavných typov ROS. Je využívaný ako signálna molekula pri viacerých procesoch, medzi nimi aj spúšťanie stresovej reakcie. Na Obr. 1 vidíme nárast zafarbenej plochy na listoch vystavených kadmiumu oproti kontrole. Pri vizuálnom vyhodnotení listy kontrolnej vzorky vykazovali minimálne zafarbenie sústredené prevažne v oblasti na vrcholoch čepele. Pri vzorkách listov vystavených pôsobeniu kadmia pozorujeme súvislejšie plochy zafarbenia. V porovnaní s priemernou plochou 1211 mm² kontroly, listy rastlín vystavené pôsobeniu 1 mg/l Cd a 3mg/l Cd mali v priemere zmenšenú plochu o 24,7 % a 64,4 %. Štatisticky významný rozdiel sme zaznamenali pri porovnaní kontrolných vzoriek a vzoriek vystavených 3 mg/l Cd, a to pri rozdiel celkových plôch čepele aj % zafarbených plôch, kedy priemer kadmiových vzoriek dosiahol 36,89 % v porovnaní s 1,88 % pri kontrole. Štatisticky významné bolo aj % zafarbenej plochy rastlín vystavených 1 mg/l Cd, v porovnaní s kontrolnými vzorkami. Hoci zmenšovanie listovej plochy pri Cd1 nebolo také výrazné ako pri Cd3, vo veľkosti zafarbenej plochy sa už tak významne nelíšili (Graf 1).

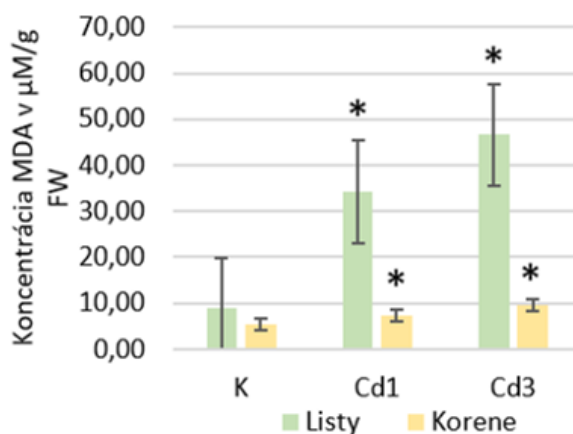


Obr. 1: Tretie listy pokusných rastlín s DAB (vľavo), zafarbená plocha upravená softvérom Fiji (vpravo)

Graf 1: Porovnanie celkovej plochy tretích listov kontrolných rastlín (K1-3), a rastlín s 1mg/l Cd (Cd1 1-3) a 3mg/l Cd (Cd3 1-3) v substráte.



Graf 2: Výsledné hodnoty obsahu EB v listoch a koreňoch kontrolných (K) a stresovaných rastlín (Cd1 a Cd3)



Graf 3: Výsledné hodnoty koncentrácie MDA v listoch a koreňoch kontrolných (K) a stresovaných rastlín (Cd1 a Cd3)

Rastliny vystavené ťažkým kovom produkujú ROS, ktoré následne poškadzujú integritu membrán a spôsobujú bunkovú smrť. Vlastnosť farbiva EB prenikať len do buniek s poškodenou membránou sme využili pri posudzovaní miery životaschopnosti buniek rastlín vystaveným pôsobeniu kadmia. Kým pri listoch môžeme konštatovať zvyšujúcu sa mieru poškodenia buniek so zvyšovaním koncentrácie Cd, vysoké hodnoty obsahu EB v koreňoch kontrolných vzoriek nám tento trend nepotvrdzujú. Vo vzorkách listov rastlín vystavených 3 mg/l Cd sme zistili 95 % nárast obsahu EB, v porovnaní so vzorkami Cd1. Zároveň sme pri vzorkách koreňov týchto rastlín pozorovali 22 % nárast obsahu EB so zvýšením koncentrácie Cd (Graf 2). Vidíme tu podobný trend medzi vzorkami Cd1 a Cd3 ako pri detekcii H₂O₂. Výrazný nárast poškodenia buniek a potlačenie rastu kľúčnych koreňov v porovnaní aplikácie 4 μM a 16 μM Cd na rastliny *Brassica rapa* uvádza aj práca /7/.

Za najstabilnejší faktor pri hodnotení oxidatívneho stresu nami sledovaných rastlín môžeme označiť mieru peroxidácie lipidov, teda obsah MDA v membránach. V listoch dochádza k 4-násobnému a 5-násobnému nárastu koncentrácie MDA pri 1 mg/l Cd a 3 mg/l Cd. V koreňoch sa nárast koncentrácie MDA prejavuje menej výrazne v porovnaní s listami, a to o 33,89 % pri 1 mg/l Cd a 77,44% pri 3 mg/l Cd (Graf 3). Štatisticky významné rozdiely pozorujeme aj pri porovnaní koncentrácií MDA medzi vzorkami rastlín vystavených Cd. Obsah MDA vo vzorkách listov pri variante Cd3 vykazuje 36,2 % nárast v porovnaní so vzorkami pri variante Cd1. Pri vzorkách z koreňov pozorujeme nárast o 32,5 % pri Cd3 oproti Cd1. Aj tieto výsledky poukazujú viac na rýchlejší presun stresovej záťaže z koreňov do nadzemných častí rastlín pri hydroponickej kultivácii. V práci /7/ zaznamenali autori zvýšený obsah MDA v koreňoch pri vyšších koncentráciách Cd (8 – 32 μM), kým pri nižších (2 – 4 μM) koncentráciách sa jeho obsah oproti kontrole skoro nezmenil.

ZÁVER

Na základe našich výsledkov sme dospeli k záveru, že vplyv kadmia sa významne začal prejavovať na listoch pri koncentrácii 3 mg/l Cd v substráte. Listy rastlín vykazovali najmenšiu celkovú plochu a najvyššie % zafarbenej plochy pri *in situ* lokalizácii H_2O_2 , najvyššiu mieru poškodenia buniek a najvyššie koncentrácie H_2O_2 a MDA pri spektrofotometrickom stanovení ich obsahu. Na koreňoch nebol tento vplyv jednoznačný, s hodnotami koncentrácií EB a H_2O_2 nižšími v porovnaní s kontrolnými vzorkami, a koncentráciou MDA vyššou v porovnaní s kontrolnými vzorkami. Rozdiely v hodnotách medzi vzorkami rastlín vystavených odlišným koncentráciám Cd poukazujú na rozdiely medzi hydroponickým pestovaním a pestovaním v pevnom substráte, kedy sme zaznamenali štatistickú významnosť už pri zvýšení koncentrácie Cd o 2 mg/l. Pri porovnaní s experimentami, pri ktorých boli rastliny slnečnice, ale aj ďalšie druhy pestované v pôde, použité koncentrácie Cd v substráte mohli byť mnohonásobne vyššie bez vykazovania významných.

LITERATÚRA

- /1/ Niu, L., Li, C., Wang, W., Zhang, J., Scali, M., Li, W., Liu, W., Tai, F., Hu, X., Wu, X. 2023. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in plants – A proteomic perspective of phytoremediation. In *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 256, no. 1, p. 14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114882>.
- /2/ Das, K., Roychoudhury, A. 2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. In *Frontiers in Environmental Science*, vol. 2, no. 1, p. 13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053>
- /3/ Kumar, D., Yusuf, M. A., Singh, P., Sardar, M., & Sarin, N. B. 2014. Histochemical detection of superoxide and H_2O_2 accumulation in *Brassica juncea* seedlings. In *Bio-protocol* 4(8): e1108. DOI: 10.21769/BioProtoc.1108
- /4/ Preethi, V. et al. 2017. Quantification of Membrane Damage/Cell Death Using Evan's Blue Staining Technique. In *Bio-protocol* 7(16): e2519. DOI: 10.21769/BioProtoc.2519.
- /5/ Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. In *Plant Science*, vol. 151, no. 1, pp. 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- /6/ Zhou, W., Leul, M. 1999. Uniconazole-induced tolerance of rape plants to heat stress in relation to changes in hormonal levels, enzyme activities and lipid peroxidation. In *Plant Growth Regulation*, vol. 27, no. 1, pp. 99-104. <https://doi.org/10.1023/A:1006165603300>
- /7/ Lv, W., Yang, L.; Xu, C.; Shi, Z.; Shao, J. et al., et al., (2017). Cadmium Disrupts the Balance between Hydrogen Peroxide and Superoxide Radical by Regulating Endogenous Hydrogen Sulfide in the Root Tip of *Brassica rapa*. *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, no. 1, pp. 232. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00232>

Pod'akovanie

Táto práca vznikla s finančnou podporou výskumného zámeru 026UKF-4/2024.

ZMENY V TOLERANCII RAJČIAKA JEDLÉHO NA IÓNY KADMIA VYVOLANÉ STRIGOLAKTÓNOM GR24

OCHRANNÉ A OBRANNÉ MOLEKULY – OLIGOSACHARIDY – OVPLYVNĚJÚ TVORBU REAKTÍVNYCH FORIEM KYSLÍKA V RASTLINÁCH

Karin Stránska¹, Veronika Kubová¹, Radoslava Matúšová², Beáta Piršelová¹

¹Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky, Katedra botaniky a genetiky, Nábrežie Mládeže 91, 949 74 Nitra, Slovenská republika, bpirselova@ukf.sk

²Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV, v. v. i., Ústav genetiky a biotechnológií rastlín, Akademická 2, 950 07 Nitra, Slovenská republika, radka.matusova@savba.sk

Summary

In this paper, we evaluate the effect of strigolactone GR24 (100 μM) on the tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. MoneyMaker) to cadmium ions (10 and 30 μM Cd). The effect of GR24 alone as well as the combination of Cd10 + GR24 and Cd30 + GR24 increased tomato tolerance compared to the Cd10 and Cd30 variants, apparently as a consequence of changes in Cd accumulation in the tissues. There was 18 % and 15 % less Cd accumulation in the roots of the Cd10 + GR24 and Cd30 + GR24 variants compared to the Cd10 and Cd30 variants, respectively. For shoots, accumulation was Cd dose-dependent, with increased Cd accumulation in the tissues of the Cd10 + GR24 variant at the lower Cd dose (by 153 % against Cd10) and decreased Cd accumulation at the higher Cd dose (by 68 % against Cd30). The present results indicated changes in Cd accumulation under GR24 treatment conditions.

Key words: accumulation potential, cadmium, Solanum lycopersicum, strigolactone, tolerance

Súhrn

V príspevku hodnotíme vplyv strigolaktónu GR24 (100 μM) na toleranciu rajčiaka jedlého (*Solanum lycopersicum*, cv. MoneyMaker) na ióny kadmia (10 a 30 μM Cd). Vplyvom samotného GR24 ako aj kombinácie Cd10 + GR24 a Cd30 + GR24 došlo ku zvýšeniu tolerancie rajčiaka oproti variantom Cd10 a Cd30 zrejme ako dôsledok zmien v akumulácii Cd v pletivách. V koreňoch variantov Cd10 + GR24 a Cd30 + GR24 sa akumulovalo o 18 % a 15 % menej Cd oproti variantom Cd10 a Cd30. V prípade výhonkov bola akumulácia závislá od dávky Cd, pri nižšej dávke Cd došlo ku zvýšenej akumulácii Cd v pletivách variantu Cd10 + GR24 (o 153 % oproti Cd10) a pri vyššej dávke Cd došlo naopak ku zníženej akumulácii Cd (o 68 % oproti Cd30). Dané výsledky poukázali na zmeny v akumulácii Cd v podmienkach pôsobenia GR24.

Kľúčové slová: akumulčný potenciál, kadmium, Solanum lycopersicum, strigolaktóny, tolerancia

ÚVOD

Kadmium (Cd) je neesenciálny prvok pre rastliny a je považovaný za jeden z najtoxickejších ťažkých kovov v prostredí vďaka jeho vysokej mobilite v prostredí a schopnosti vyvolávať toxicitu už pri nízkych koncentráciách v organizmoch /1/. K zvyšovaniu obsahu Cd v pôdach prispieva najmä aplikácia fosforečných hnojív, rôzne odpady vo forme kompostov a

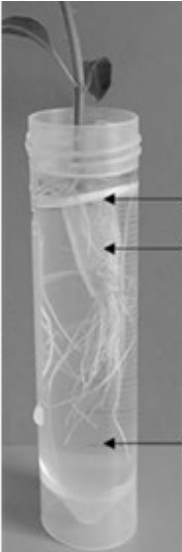
kaly z čistiarní odpadových vôd. Rôzne rastlinné druhy a odrody reagujú rôzne na ióny ťažkých kovov, pri pestovaní na pôdach s Cd vykazujú napr. rastliny rajčiaka vyššiu toleranciu ako iné druhy /2, 3/ a sú schopné akumulovať tento kov vo svojich výhonkoch niekedy nad prahom hyperakumulácie Cd (100 mg.kg^{-1}) /4/. Doterajšie štúdie naznačujú, že zvýšená akumulácia Cd v pletivách rajčiaka môže indukovať obranu voči rôznym bylinožravcom /5/. Štúdie posledných rokov poukázali na zmeny v akumulácii Cd v pletivách rastlín ako aj ich toleranciu na Cd vplyvom strigolaktónov /6,7/.

Cieľom práce bolo zhodnotiť toleranciu vybranej odrody rajčiaka jedlého na rôzne koncentrácie Cd v rastovom médiu obohatenom o strigolaktón GR24.

MATERIÁLY A METÓDY

Semená rajčiaka (*Solanum lycopersicum*, cv. Moneymaker) sme sterilizovali roztokom zloženia: 2 % (v/v) chlórnan sodný a 0,02 % (v/v) Tween-20 po dobu 10 minút, dôkladne premyli v sterilnej vode a následne sme ich predklíčkovali v Petriho miskách s navlhčeným filtračným papierom. Po naklíčení sme klíčence pestovali hydroponicky v 50 ml skúmavkách (1 rastlina/ 1 skúmavka) naplnených 1/2 *modifikovaným Hoaglandovým roztokom* (Obr. 1) 7 dní.

ZLOŽKY MÉDIA HOAGLAND	
MAKRONUTRIENTY	mmol/l
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,6
KNO_3	2,4
KH_2PO_4	0,4
$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,8
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,18
$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,1
MIKRONUTRIENTY	mmol/l
H_3BO_3	0,023
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,0045
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,0003
ZnCl_2	0,0015
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,0001



Polystyrénový krúžok

Mikroskúmavka naplnená Murashige a Skoog médiom spevneným 0,8% agarom

Úplný Hoaglandov živný roztok

Obr. 1: Zloženie modifikovaného Hoaglandovho rastového média a schéma pestovania predklíčených rastlín v *in vitro* podmienkach.

Po 7 dňoch sme vymenili médium Hoagland a pridali Cd a strigolaktón GR24, v rámci nasledovných variantov: 1. Hoagland (H, Kontrola), 2. H + $10 \mu\text{M CdCl}_2$, 3. H + $30 \mu\text{M CdCl}_2$, 4. H + $100 \mu\text{M GR24}$, 5. H + $10 \mu\text{M CdCl}_2$ + $100 \mu\text{M GR24}$, 6. H + $30 \mu\text{M CdCl}_2$ + $100 \mu\text{M GR24}$ a pestovali ďalších 19 dní. Kadmium bolo pridávané do média vo forme $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Rastové médium bolo vymieňané každých 7 dní. Celkovo bolo v každom variante experimentu 20 rastlín. Médium Hoagland s prídavkom CdCl_2 a GR24 sme celkovo vymenili 3-krát. Rajčiaky boli počas experimentu umiestnené v kultivačnej miestnosti s teplotou $22 \text{ }^\circ\text{C}$, intenzitou svetla $50 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a 16 hodinovou fotoperiódou. Po 33 dňoch rastu od začiatku naklíčovania semien sme pokus ukončili a rastliny podrobili nasledovným analýzám:

Stanovenie rastových parametrov a tolerančného indexu

Po vysušení koreňov a výhonkov v sušiarňi počas 48 hodín pri teplote 60 °C sme stanovili obsah suchej hmoty (DW). Tolerančný index (TI) bol stanovený podľa vzťahu: $TI (\%) = (\text{priemerný obsah DW stresovaných rastlín} / \text{priemerný obsah DW kontrolných rastlín}) \times 100$.

Stanovenie obsahu Cd vo výhonkoch

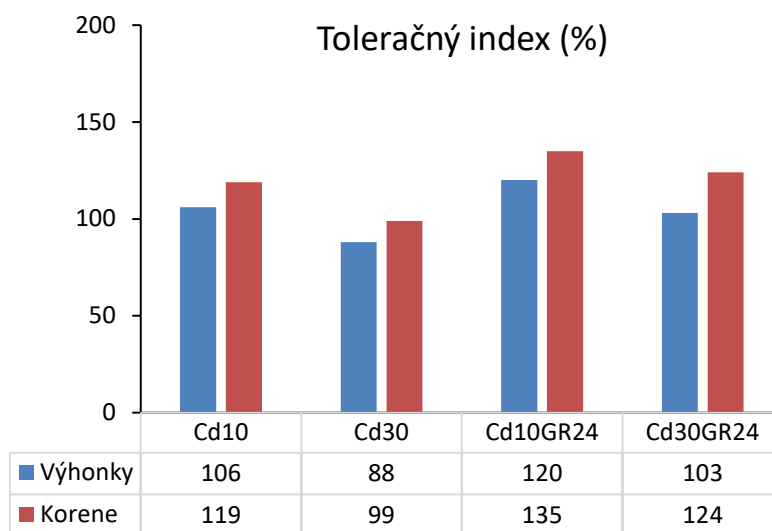
Kadmium bolo stanovené vo výhonkoch metódou ICP-OES 725 (Varian 725 ES ICP) podľa Kováčika a kol. /8/ v dvoch opakovaníach v prípade výhonkov a v jednom opakovaní v prípade koreňov.

Štatistické spracovanie výsledkov

Základné štatistické charakteristiky sme stanovili pomocou programu MS EXCEL.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dôsledkom prídavku strigolaktónu GR24 (100 μM) do rastového média bolo zvýšenie tolerancie rajčiaka na ióny Cd pri oboch hodnotených dávkach (Graf 1).

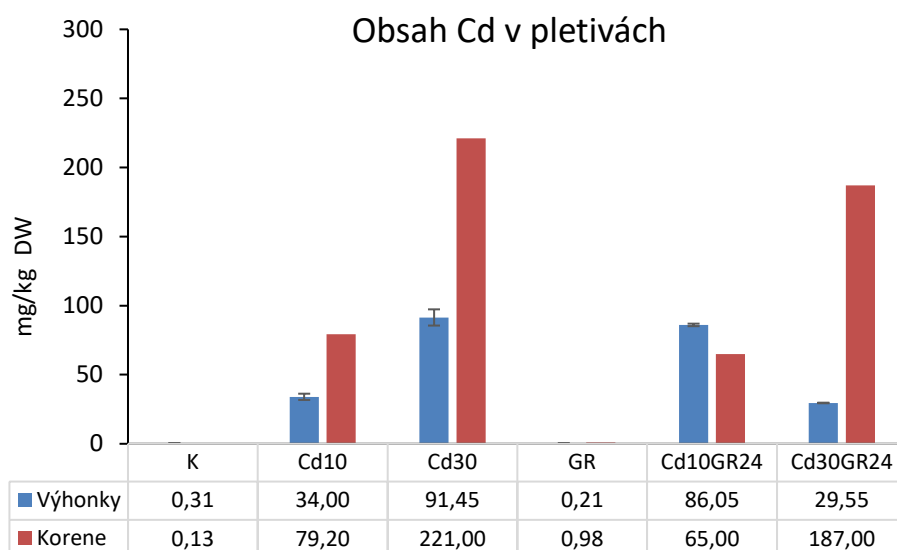


Graf 1: Tolerančné indexy v % stanovené na základe obsahu sušiny (DW) výhonkov a koreňov rajčiaka jedlého. Cd10, Cd30 – kadmium v dávke 10 a 30 μM . GR24 – 100 μM roztok strigolaktónu GR24.

So zvyšujúcou sa úrovňou stresu Cd dochádzalo k rastúcej akumulácii Cd v pletivách rajčiaka, pričom na akumulovaný obsah mala vplyv aplikácia GR24 (Graf 2).

V koreňoch rajčiaka vystavených dávke Cd10 a Cd30 sa akumulovalo 79,20 a 221,00 mg.kg^{-1} DW Cd, vo výhonkoch 34,00 a 91,45 mg.kg^{-1} DW (Graf 2). V koreňoch variantov Cd10 + GR24 a Cd30 + GR24 sa akumulovalo o 18 % a 15 % menej Cd oproti variantom Cd10 a Cd30. V prípade výhonkov bola akumulácia závislá od dávky Cd, pri nižšej dávke Cd došlo ku zvýšenej akumulácii Cd v pletivách variantu Cd10 + GR24 (o 153 % oproti Cd10) a pri vyššej dávke Cd došlo naopak ku zníženej akumulácii Cd (o 68 % oproti Cd30). Dané výsledky naznačujú, že GR24 má vplyv na distribúciu Cd v pletivách rajčiaka a dané zmeny sú pravdepodobne vplyvajú aj na toleranciu rajčiaka v daných podmienkach. Zníženie akumulácie Cd v prítomnosti GR24 pozorovali aj Wani et al. /7/ v pletivách *Artemisia annua* a tiež Qiu et

al. /9/ v skúmaných kultivaroch *Hordeum vulgare*. V štúdií Yang et al. /10/ pozorovali pri nižšej koncentrácii GR24 zvýšený obsah Cd vo výhonkoch *Galinsoga parviflora* Cav., pri vyššej koncentrácii GR24 sa prejavil opačný účinok. Dané zistenia budú ďalej hodnotené aj v kontexte zmien obranných mechanizmov rajčiaka v daných podmienkach.



Graf 2: Akumulácia kadmia (Cd) v koreňoch a výhonkoch rajčiaka jedlého. Údaje zodpovedajú aritmetickému priemeru \pm štandardná odchýlka. Cd – kadmium.

ZÁVER

Výsledky danej štúdie poukázali na zmeny v akumulácii Cd pletivami rajčiaka jedlého (cv. Moneymaker) v podmienkach aplikácie GR24. Dané zmeny boli závislé od dávky Cd ako aj od rastlinného orgánu. V koreňoch variantov Cd10 + GR24 a Cd30 + GR24 sa akumulovalo o 18 % a 15 % menej Cd oproti variantom Cd10 a Cd30. V prípade výhonkov bola akumulácia závislá od dávky Cd, pri nižšej dávke Cd došlo ku zvýšenej akumulácii Cd v pletivách variantu Cd10 + GR24 (o 153 % oproti Cd10) a pri vyššej dávke Cd došlo naopak ku zníženej akumulácii Cd (o 68 % oproti Cd30). Zníženie obsahu Cd v pletivách rajčiaka ako dôsledok aplikovaného GR24 predstavuje jednu z možností zníženia rizík pestovania rajčiaka v pôdach kontaminovaných Cd a tiež zvýšenia tolerance rajčiaka voči tomuto kovu.

LITERATÚRA

- /1/ Ducsay, L.: Obsah chlorofylu, kadmia a zinku v listoch slnečnice v podmienkach Cd a Zn stresu. Chemické Listy, 105, 2011: 269–272.
- /2/ Khan, S., Khan, N.N.: Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and egg-plant (*Solanum melongena*). Plant Soil, 74, 1983: 387–394.
- /3/ Kuboi, T., Noguchi, A., Yazaki, J.: Family-dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants. Plant Soil, 92, 1986: 405–415.
- /4/ Gratão, P.L., Monteiro, C.C., Antunes, A.M., Peres, L.E.P., Azevedo, R.A.: Acquired tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Micro-Tom) plants to cadmium-induced stress. Annals of Applied Biology, 153, 2008: 321–333.

- /5/ Godinho, D.P., Janssen, A., Dias, T., Cruz, C., Magalhães, S.: Down-regulation of plant defence in a resident spider mite species and its effect upon con- and heterospecifics. *Oecologia*, 180, 2016: 161–167.
- /6/ Tai, Z., Yin, X., Fang, Z., Shi, G., Lou, L., Cai, Q.: Exogenous GR24 alleviates cadmium toxicity by reducing cadmium uptake in switchgrass (*Panicum virgatum*) seedlings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 2017: 852.
- /7/ Wani, K.I., Naeem, M., Khan, M.M.A., Aftab, T.: Insights into strigolactone (GR24) mediated regulation of cadmium-induced changes and ROS metabolism in *Artemisia annua*. *Journal of Hazardous Materials*, 448, 2023: 130899.
- /8/ Kováčik, A., Tirpak, F., Tomka, M., Miskeje, M., Tvrda, E., Arvay, J., Andreji, J., Slanina, T., Gabor, M., Hleba, L., Fik, M., Jambor, T., Cisarova, M., Massanyi, P.: Trace metals in the freshwater fish *Cyprinus carpio*: effect to serum biochemistry and oxidative status markers. *Biological Trace Element Research*, 188, 2018: 494–507.
- /9/ Qiu, C.W., Zhang, C., Wang, N.H., Mao, W., Wu, F.: Strigolactone GR24 improves cadmium tolerance by regulating cadmium uptake, nitric oxide signaling and antioxidant metabolism in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental Pollution*, 273, 2021: 116486.
- /10/ Yang, Y., Zheng, Q., Zhou, K., Xiao, Y., Huang, C., Hu, R., Lin, L., Wang, J. Effect of exogenous strigolactone on the cadmium accumulation in *Galinsoga parviflora* Cav. *Chemistry and Ecology*, 40, 2024: 292–304.

PodĎakovanie

Práca bola podporená výskumným zámerom projektu 015UKF-4/2024 KEGA.

VPLYV KADMIA A MÚČNATKY TRÁVOVEJ NA OXIDAČNÉ POŠKODENIE PLETÍV OVSA SIATEHO

THE INFLUENCE OF CADMIUM AND POWDERY MILDEW ON THE OXIDATIVE DAMAGE OF OAT TISSUES

Veronika Kubová, Beáta Piršelová

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

Summary

The aim of our work was to recognize the mechanisms involved in the oxidative defence of oats against Cd (50 mg.kg⁻¹), against powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *avenae*) and their combination. All oat cultivars responded to stress by increasing membrane lipid peroxidation (in Ø 1.54-3.57-fold due to Cd, 1.88-6.59-fold due to P and 1.52-4.12-fold due to P + Cd). No significant changes in catalase activity were observed in the Cd variant, while in the variants with infection there was a slight (in the case of some varieties) statistically significant increase in catalase activity. The results further suggest that glutathione plays a different role in the Cd and pathogen variants. In infected leaves it is more likely to play an antioxidant role, whereas in Cd-exposed plants it is more likely to be involved in the conjugation or sequestration of cadmium in the cells.

Key words: oats, powdery mildew, cadmium, simultaneous stress, oxidative damage

Souhrn

Cieľ našej práce spočíval v rozpoznaní mechanizmov zapojených do oxidatívnej obrany ovsa voči Cd (50 mg.kg⁻¹), voči múčnatke trávovej (*Blumeria graminis* f. sp. *avenae*) a ich kombinácii. Všetky odrody ovsa reagovali na stres zvýšením lipidovej peroxidácie membrán (v Ø 1,54 – 3,57-násobne vplyvom Cd, 1,88 – 6,59-násobne vplyvom P a 1,52 – 4,12-násobne vplyvom P + Cd). Výraznejšie zmeny v aktivite katalázy sme nezaznamenali vo variante Cd, vo variantoch s infekciou došlo k miernemu (v prípade niektorých odrôd) štatisticky významnému nárastu jej aktivity. Získané výsledky ďalej naznačujú, že glutatión zohráva odlišnú úlohu vo variantoch s Cd a vo variantoch s patogénom. V infikovaných listoch je to skôr antioxidantná úloha, v prípade rastlín vystavených Cd dochádza k jeho zapojeniu skôr do konjugácie, resp. sekvestrácie kadmia v bunkách.

Kľúčové slová: ovos, múčnatka, kadmium, simultánny stres, oxidačné poškodenie

ÚVOD

Ovos siaty (*Avena sativa* L.) z čeľade *Poaceae* (lipnicovité) je viacúčelová obilnina pestovaná v mnohých častiach sveta /1/. V odhade FAO /2/ sa ovos umiestnil na šiestom mieste v celosvetovom kontexte potravinárskej plodiny a tiež na prvom mieste na svete v rámci produkcie krmovín.

Jednou z najznámejších a častých listových chorôb ovsa je múčnatka spôsobená hubou *Blumeria graminis* f. sp. *avenae*, ktorá je jedným z hlavných faktorov znižujúcich úrodnosť ovsa /3/. Zriedkakedy je však infekcia jediný faktor, ktorý prispieva k zníženiu jeho úrodového potenciálu a často je to súčasné pôsobenie viacerých faktorov. Doterajšie štúdie naznačili, že ťažké kovy môžu ovplyvniť toleranciu rastlín voči rôznym infekciám /4, 5/ a boli identifikované spoločné mechanizmy odozvy, ktoré rastliny účinne využívajú v boji proti kovom a patogénom /6/. Odpoveď rastlín na súčasné pôsobenia viacerých stresorov pritom môže byť výsledkom antagonistickej, synergickej alebo bezúčinkovej interakcie medzi nimi /7/. Generovanie reaktívnych foriem kyslíka (ROS) je najdôležitejšou a najbežnejšou signálnou udalosťou v skorých reakciách rastlín na mnohé abiotické a biotické stresy /8/ a ovplyvňuje mnohé mechanizmy obrany.

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na zhodnotenie vplyvu kadmia, múčnatky trávovej a ich kombinácie na oxidatívne poškodenie pletív ovsa siateho.

MATERIÁL A METODIKA

V práci sme hodnotili vplyv kadmia (50 mg.kg^{-1} pôdy – aplikované v 22. deň od začiatku kultivácie), múčnatky trávovej (*Blumeria graminis* f. sp. *avenae* – infekcia v 35. deň v dávke $1000 - 2500 \text{ spór.cm}^{-2}$) a ich kombinácie na rast a metabolizmus piatich odrôd ovsa siateho (*Avena sativa* L., cvs. Aragon, Bay Yan 2, Ivory, Racoon a Václav). Zrná ovsa boli vysiate do plastových nádob ($\varnothing = 25 \text{ cm}$) naplnených pestovateľským substrátom Klasmann TS 2 s obsahom $\text{Cd} = 1,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny a umiestnené do fytokomory ($t = 15 - 24 \text{ }^\circ\text{C}$, vlhkosť = 67 – 82 %, intenzita osvetlenia = 20 000 lux a fotoperiódá 16 h deň/ 8 h tma), resp. do kultivačnej miestnosti s rovnakými podmienkami (infikované varianty experimentu). Celkovo boli založené 4 varianty experimentu: 1. kontrolný variant (K), 2. variant Cd (kadmium), 3. variant P (patogén) a 4. variant P + Cd (patogén + Cd). Infikované varianty boli pestované oddelene. Na 64. deň od začiatku kultivácie boli odobraté vzorky z centrálnej časti 2. plne vyvinutého listu pre jednotlivé analýzy.

Peroxidácia lipidov membrán v listoch ovsa bola stanovená ako ekvivalent obsahu malondialdehydu (MDA) podľa /9/.

Aktivita katalázy a obsah celkového glutatiónu (2GSH) boli merané pomocou kitov (Invitrogen).

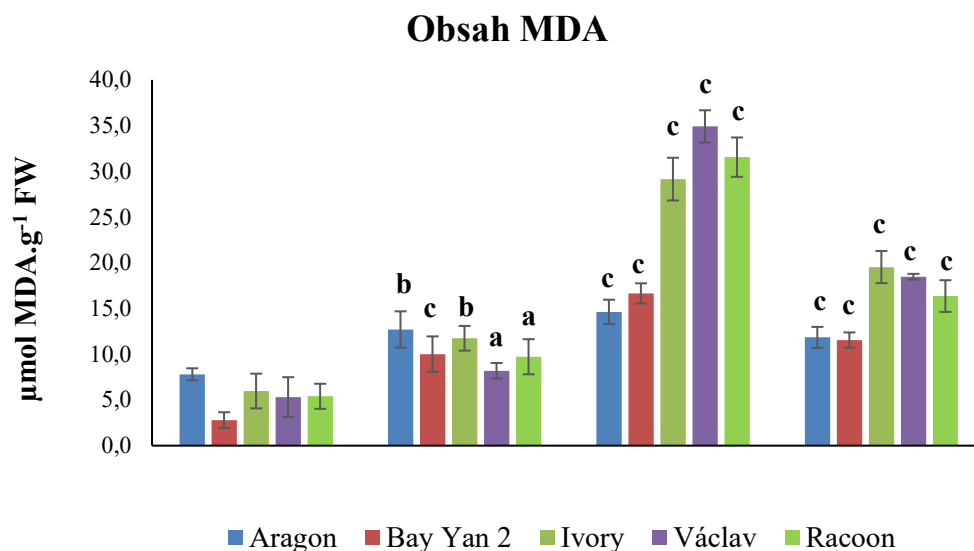
Získané údaje boli štatisticky spracované pomocou programu MS EXCEL. Signifikantnosť rozdielov sme hodnotili t-testom a vyjadrili na troch hladinách pravdepodobnosti: $p < 0,05$; $p < 0,01$ a $p < 0,001$.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah MDA sa vplyvom stresu signifikantne zvýšil v listoch všetkých odrôd ovsa, pričom najnižší nárast sme zaznamenali vo variante Cd (1,54 – 3,57 násobok K), najvyšší vo variante P (1,88 – 6,59 násobok K) a v listoch vystavených kombinovanému stresu to bol 1,52 – 4,12 násobne vyšší obsah oproti kontrole. Peroxidácia membrán bola teda do určitej miery potlačená v listoch variantu P + Cd oproti variantu P (Graf 1). Takéto potlačenie možno pripísať mechanizmom, ktoré pravdepodobne zvyšujú obranu v dôsledku pôsobenia Cd (efekt tzv. primingu) /10/.

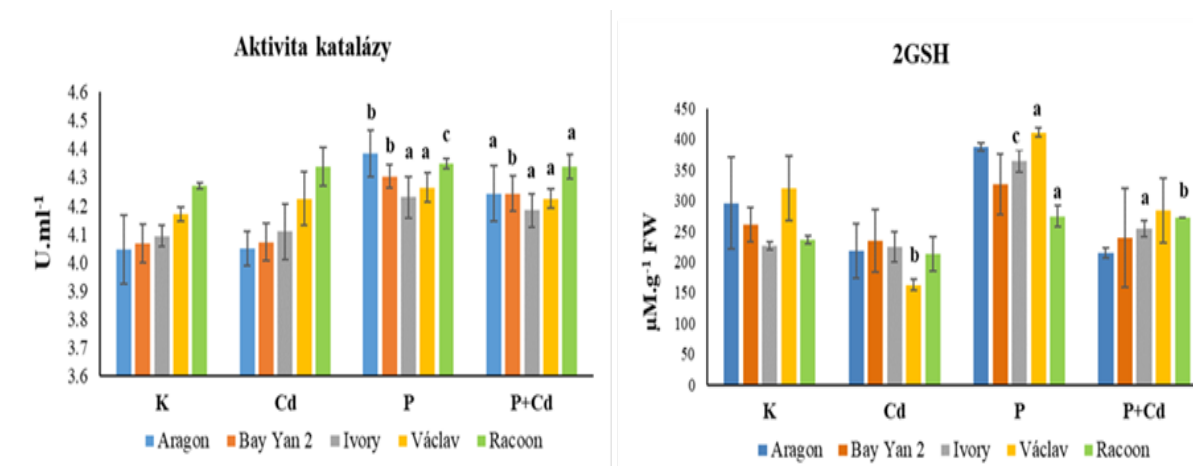
Kataláza je antioxidačný enzým, ktorého jednotka (U) rozloží 1,0 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ za minútu pri pH 7 a 25 °C. Hodnotením zmien aktivity katalázy v jednotlivých variantoch experimentu sme zaznamenali jej zvýšenie oproti kontrole (avšak minimálne) vo všetkých testovaných odrodách ovsa (Graf 2) so signifikantným nárastom v infikovaných listoch (variant P) odrôd Aragon, Bay Yan 2 a Ivory (1,08; 1,06 a 1,03 násobok K) a v infikovaných listoch (variant P + Cd) odrôd Aragon a Bay Yan 2 (1,05 a 1,04 násobok kontroly).

Bazálne hodnoty (variant K) celkového glutatiónu (GSH) boli v listoch sledovaných odrôd odlišné, s najvyšším obsahom v listoch odrôd Aragon a Václav (Graf 2).



Graf 1: Obsah malondialdehydu (MDA) v listoch piatich odrôd ovsa vplyvom kadmia (Cd), patogénu (P) a ich kombinácie (P + Cd). Údaje zodpovedajú aritmetickému priemeru so smerodajnou odchýlkou (n = 4). Štatistické významné zmeny pri hladinách a ($p < 0,05$); b ($p < 0,01$) a c ($p < 0,001$) oproti kontrole (K).

V prípade variantu Cd nastal pokles celkového glutatiónu v listoch všetkých odrôd (v rozsahu 1 – 49 % oproti K). Vo variante P sme detegovali jeho zvýšený obsah (1,13 – 1,62 násobok K) vo všetkých odrodách. Významný nárast jeho obsahu oproti kontrole sme zaznamenali v listoch odrôd Ivory, Václav a Aragon (1,62; 1,28 a 1,34 násobok K). V prípade kombinovaného stresu (variant P + Cd) sme nezaznamenali výraznejšie zmeny obsahu glutatiónu oproti kontrole (Graf 2). Uvedené výsledky naznačujú, že glutatión zohráva odlišnú úlohu v obrane vo variantoch s Cd a vo variantoch s patogénom. Pokles glutatiónu vplyvom Cd je pravdepodobne výsledkom jeho prednostnej spotreby ako prekursora pre syntézu fytochelatínov – proteínov zapojených do detoxifikácie Cd. Daný predpoklad podporujú aj výsledky iných štúdií /11, 12/. Zvýšená hladina glutatiónu v pletivách ovsa infikovaných patogénom je v súlade so zisteniami iných autorov /13, 14/ a jeho úloha je v danom kontexte skôr antioxidačná. Ukazuje sa, že ROS generované počas aklimácie na abiotický stres je kľúčom k aktivácii obrannej reakcie rastlín s cieľom tolerovať aj iné formy stresu (biotický) v daných podmienkach /15/. Získané údaje budú ďalej hodnotené v kontexte zmien obranných mechanizmov ovsa.



Graf 2: Aktivita katalázy a obsah celkového glutatiónu (2GSH) v listoch piatich odrôd ovsu vplyvom kadmia (Cd), patogénu (P) a ich kombinácie (P + Cd). FW – čerstvá hmotnosť. Údaje zodpovedajú aritmetickému priemeru so smerodajnou odchýlkou ($n = 4$). Štatistické významné zmeny pri hladinách a ($p < 0,05$), b ($p < 0,01$) a c ($p < 0,001$) oproti kontrole (K).

ZÁVER

Infekcia múčnatkou predstavovala pre ovos silnejší stres ako testovaná dávka Cd. Oxidačné poškodenie membrán pritom bolo závislé aj od odrody ovsu. Zníženie oxidačného poškodenia pletív variantu Cd + P oproti variantu P tiež naznačilo existenciu „priming“ efektu Cd. Ukazuje sa tiež, že glutatión zohráva odlišnú úlohu v obrane ovsu voči Cd ako voči patogénu. Pokles glutatiónu vplyvom Cd je pravdepodobne výsledkom jeho prednostnej spotreby ako prekursora pre syntézu fytochelatínov a v infikovaných variantoch predpokladáme jeho prednostnú funkciu v procese eliminácie kyslíkatých radikálov.

LITERATÚRA

- /1/ Sangwan, O., Avtar, R., Arora, R.N., Singh, A.: Variability and character association studies in foldder oat (*Avena sativa* L.). Forage Research, 38, 2012: 56–58.
- /2/ FAO. 2011: Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes. FAO Statistics. (2010/2011)
- /3/ Zillinsky, F.J.: Common diseases of small grain cereals: A guide to identification. Mexico, D.F: CIMMYT, 1983: 141 p.
- /4/ Morkunas, I., Woźniak, A., Mai, V.CH., Rucińska-Sobkowiak, R., Jeandet, P.: The role of heavy metals in plant response to biotic stress. Molecules, 23, 2018: 1–30.
- /5/ Xu, L., Wang, R., Jin, B., Chen, J., Jiang, T., Ali, W., Tian, S., Lu, L.: Cadmium inhibits powdery mildew colonization and reconstructs microbial community in leaves of the hyperaccumulator plant *Sedum alfredii*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 260, 2023.
- /6/ Yao, Y.A., Wang, J., Ma, X.M., Lutts, S., Sun, CH., Ma, J., Yang, Y., Achal, V., Xu, G., Yao, Y.A.: Proteomic analysis of Mn-induced resistance to powdery mildew in grapevine. Journal of Experimental Botany, 63, 2012: 5155-5170.
- /7/ Poschenrieder, C., Tolrà, R., Barceló, J.: Interactions between metal ion toxicity and defences against biotic stress: Glucosinolates and benzoxazinoids as case studies. Forest Snow and Landscape Research, 80, 2006: 149–160.
- /8/ Singla, P., Bhardwaj, R.D., Kuar, S., Kuar, J.: Antioxidant potential of barley genotypes inoculated with five pathotypes of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. Physiology and Molecular Biology of Plants, 25, 2019: 145–157.

- /9/ Heath, R.L., Packer, L.: Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 1968: 189–198.
- /10/ Liu, H., Able, A.J., Able, J.A.: Priming crops for the future: rewiring stress memory. *Trends in Plant Science*, 27, 2022: 699–716.
- /11/ Lutts, S., Lefèvre, I., Delpérée, C., Kivits, S., Dechamps, C., Robledo, A., Correal, E.: *Journal of Environmental Quality*, 33, 2004: 1271–1279.
- /12/ Van Baelen, E., Van de Geijn, S.C., Desmet, G.M. Autoradiographic evidence for the incorporation of cadmium into calcium oxalate crystals. *Z Pflanzenphysiologie*, 97, 1980, 123–133.
- /13/ Carver, T.L.W., Robbins, M.P., Zeyen, R.J.: Effects of two PAL inhibitors on the susceptibility and localized autofluorescent host cell responses of oat leaves attacked by *Erysiphe graminis* D.C. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 39, 1991: 269–287.
- /14/ Carver, T.L., Zhang, L., Zeyen, R.J., Robbins, M.P.: Phenolic biosynthesis inhibitors suppress adult plant resistance to *Erysiphe graminis* in oat at 20 °C and 10 °C. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 49, 1996: 121–141.
- /15/ Choudhury, F.K., Rivero, R.M., Blumwald, E., Mittler, R.: Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90, 2017: 856–867.

Pod'akovanie

Práca bola podporená výskumným zámerom projektu 015UKF-4/2024 KEGA.

VPLYV HNOJENIA NA TRÁVNE PORASTY V MENIACICH SA KLIMATICKÝCH PODMIENKACH

THE EFFECT OF FERTILIZATION ON GRASSLAND IN CHANGING CLIMATE CONDITIONS

Vladimíra Vargová

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – VÚRV – Ústav trávnych porastov
a horského poľnohospodárstva, Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica,
vladimira.vargova@nppc.sk

Summary

The purpose of research was to analyze the condition of grasslands of long-term fertilization. The experiment was established in the western part of the Zvolenská kotlina (Veľká Lúka) basin at 350 m a.s.l. The experiment consisted of 5 treatments of fertilization: unfertilized grass swards, PK fertilized grass swards and grass swards fertilized 50, 100 and 150 kg N/ha. The grassland was used three times by cutting. Application of fertilizers had an effect on DM yield. The rate of 150 kg N/ha produced the highest DM yields (7.48 t/ha). The soil is loamy fluvisol; the initial soil pH (KCl) is 6.03. In the years 2008 - 2023 the soil pH_(KCl) decreased to the values in range 4.35 - 4.87. The most significant decrease of soil pH (4.74) was on the treatment N150PK. The significantly ($P < 0.01$) highest content of organic matter and nitrogen was in the non-fertilized treatment. The phosphorus and potassium supply in the soil was significantly ($P < 0.01$) the highest on the treatment PK.

Key words: grassland, long-term experiment, fertilised, dry mater, soil reaction, climate

Súhrn

Účelom výskumu bola analýza stavu trávnych porastov pri dlhodobom hnojení. V západnej časti Zvolenskej kotliny (Veľká Lúka) bol založený experiment v nadmorskej výške 350 m. Pokus pozostával z 5 variantov hnojenia: nehnojený variant, PK variant, varianty s hnojením 50, 100 a 150 kg N.ha⁻¹. Trávny porast bol využívaný trikrát kosením. Aplikácia hnojív ovplyvňovala produkciu sušiny. Najvyššia produkcia sušiny (7,48 t.ha⁻¹) bola na variante s dávkou 150 kg N.ha⁻¹. Pôda je fluvizem, hlinitá s počiatočným pH pôdy (KCl) = 6,03. V rokoch 2008 - 2023 sa znížilo pH_(KCl) pôdy na hodnotu v rozmedzí 4,35 - 4,87. Najvyššia pôdna reakcia (4,74) bola na variante N150PK. Signifikantne ($P < 0,01$) najvyšší obsah organickej hmoty a dusíka bol na nehnojenom variante. Zásoba fosforu a draslíka v pôde bola preukazne ($P < 0,01$) najvyššia na variante PK.

Kľúčové slová: trávny porast, botanika, hnojenie, produkcia sušiny, pôdna reakcia

ÚVOD

Najdôležitejším indikátorom klimatickej zmeny je globálne otepľovanie. Priemerná teplota na Zemi stúpa, stúpa počet a sila hurikánov, tropických búrok a cyklónov, pribúdajú záplavové obdobia, ubúda výška snehovej pokrývky, stúpa rýchlosť topenia ľadovca a pribúdajú dlhé obdobia tepla a sucha /8/. Trávny porast má schopnosť fungovať v uzavretom

kolobehu organickej hmoty, energie, minerálnych látok a vody za pomoci abiotických činiteľov prostredia, ale aj pravidelného využívania človekom /1/. Celkový úspech hnojenia závisí od pôvodného stavu trávneho porastu, jeho zabezpečenia vodou, klimatických a pôdnych podmienok, spôsobu a frekvencie využívania a systému hnojenia /10/. Hnojenie zvyšuje produkciu využiteľnej biomasy všetkých druhov v poraste /1/. Cieľom príspevku bolo zhodnotenie vplyvu hnojenia na produkciu sušiny v meniacich sa klimatických podmienkach.

MATERIÁL A METÓDY

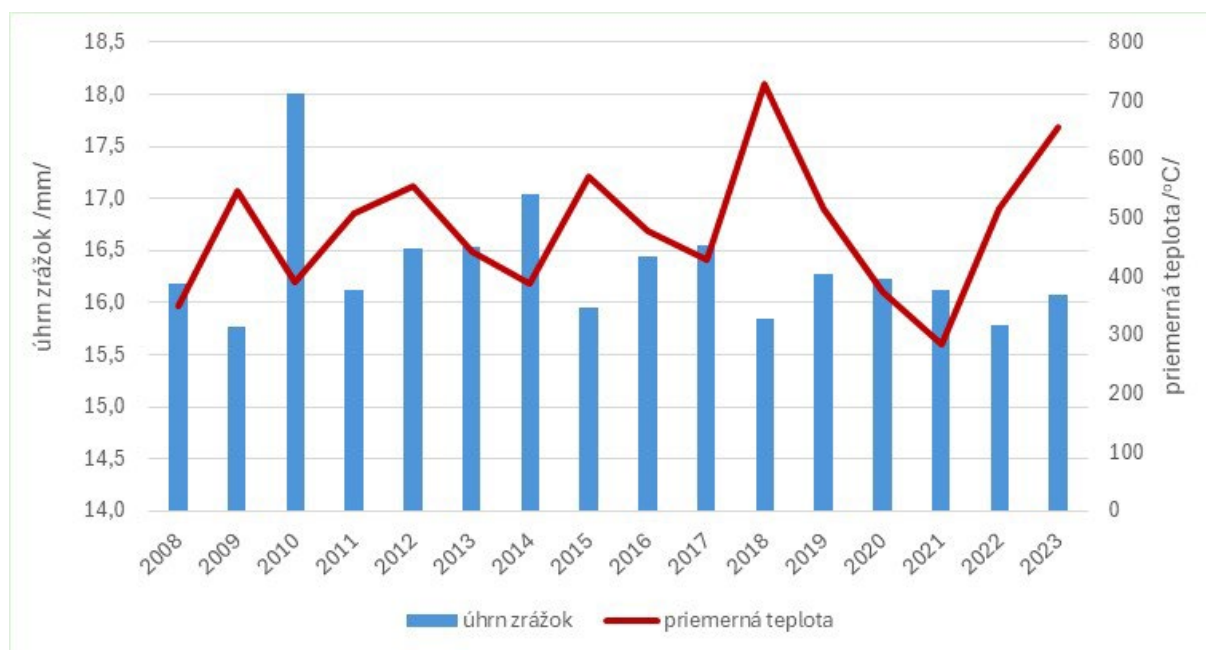
Dlhodobý pokus bol založený na Veľkej Lúke v roku 1961. V príspevku uvádzame výsledky za obdobie rokov 2008 – 2023. Lokalita sa nachádza v západnej časti Zvolenskej kotliny v nadmorskej výške 350 m (N 48° 37'; E 19° 10'), geologický substrát sú aluviálne naplaveniny, pôdny typ je fluvizem. Pokus bol založený blokovou metódou (32 m², 8 x 4 m) v štyroch opakovaníach. Pozostáva z piatich variantov (C0N - nehnojená kontrola, PK, N50PK, N100PK a N150PK), ktorých dávky NPK živín sú v tabuľke 1. Na začiatku vegetačného obdobia sa aplikovala prvá dávka hnojív (celá dávka fosforu, draslíka; 65 % N) a po prvej kosbe bola aplikovaná druhá dávka dusíka. Porasty sa využívali tromi kosbami. Pred každou kosbou boli odobraté priemerné vzorky zelenej hmoty s hmotnosťou približne 500 gramov na stanovenie produkcie sušiny podľa STN 47 7007. Na jeseň sa odobrali pôdne vzorky na chemické analýzy z hĺbky 0 – 150 mm. Z odobratých priemerných vzoriek sa stanovili pH/KCl, obsah organického uhlíka, fosfor, draslík a horčík. Rozbor pôd sa robil podľa Vyhlášky MPRV SR Zz.č.151/2016. Získané výsledky boli spracované štatistickou metódou analýzy variancie ANOVA prostredníctvom Tukeyovho testu na hladine významnosti 0,01, na určenie vzájomných vzťahov bol použitý Pearsonov korelačný koeficient. Analýzy boli vykonané použitím programu STATGRAPHIC Centurion XVI.I.

Tab 1: Varianty pokusu

Varianty/ dodané živiny	C0N kg.ha ⁻¹	PK kg.ha ⁻¹	N50PK kg.ha ⁻¹	N100PK kg.ha ⁻¹	N150PK kg.ha ⁻¹
N	0	0	50	100	150
P	0	22	7,5	15	22,5
K	0	41,5	20	40	60

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Za sledované roky 2008 – 2023 bol najvyšší úhrn zrážok počas vegetačného obdobia zaznamenaný v roku 2010, a to 711 mm (graf 1). Nízke úhrny zrážok boli evidované v rokoch 2009, 2015, 2018, 2021 a 2022. Najnižší úhrn zrážok počas vegetačného obdobia (318 mm) bol nameraný v roku 2022 s priemernou teplotou 16,9 °C. Rok 2008 mal najnižšiu priemernú teplotu (16,0 °C). Teplotne a zrážkovo normálne boli roky 2013, 2016 a 2017, čo potvrdili vo svojich prácach aj ďalší autori /5/. Najteplejší rok bol 2018 (18,1°C), ktorý bol aj druhým najsuchším rokom, s úhrnom zrážok počas vegetačného obdobia 377 mm. Druhý najteplejší rok bol 2023, čo uvádzajú aj autori /8/, ktorí tento rok označili ako najteplejším rokom v histórii meraní.

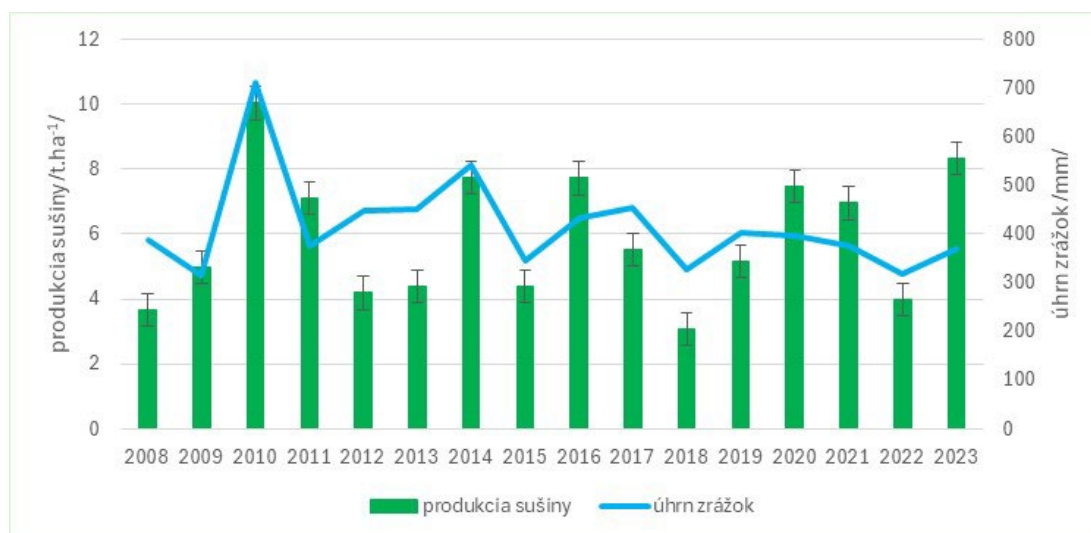


Graf 1: Walterov klimatogram 2008–2023

Trávny porast na kontrolnom variante dosiahol najnižšiu priemernú produkciu sušiny $4,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na variante PK bola úroda sušiny vyššia o $1,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, čo predstavuje 24 %-né zvýšenie pri porovnaní s kontrolou (tab. 2). Aplikácia dusíka v dávke $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ + PK (N50PK) zvýšila úrodu fytomasy o 33,2 % (o $1,44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Signifikantný ($P < 0,01$) vplyv mali aj vyššie dávky dusíka $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ + PK, nárast bol o $2,26 - 3,14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (52,1 % a 72,4 %-ný nárast). Výsledky potvrdzujú tvrdenia viacerých autorov [2, 10], ktorí zistili, že hnojenie dusíkom zvyšovalo produkciu sušiny v kosbách. Najnižšia produkcia sušiny počas hodnotených rokov bola na nehnojenom variante, oscilovala od $2,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ v roku 2013 do $8,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ v roku 2010. Preukazne ($P < 0,01$) najvyššiu produkciu sušiny dosiahli porasty v roku 2010, kedy bol najvyšší úhrn zrážok (graf 2). Hnojenie dusíkom vo všeobecnosti zvyšuje produkciu fytomasy trávnych porastov [4, 3].

Korelačná analýza ukázala silný vzťah medzi produkciou sušiny a úhrnom zrážok za vegetačné obdobie (tab. 2). S vyšším úhrnom zrážok počas vegetačného obdobia sa štatisticky významne zvýšila úroda sušiny na variantoch N150PK ($r = 0,6110^{**}$, $P < 0,01$), N50PK ($r = 0,6636^{**}$, $P < 0,01$), PK ($r = 0,6324^{**}$, $P < 0,01$) okrem variantu N100PK, kde zrážky nemali vplyv na tvorbu úrody sušiny. Vyššia priemerná teplota mala nepriaznivý vplyv na produkciu sušiny, bez signifikantného vplyvu.

Vlastnosti pôd sú ovplyvňované edafickými faktormi ako geologický podklad, pôdny druh a pôdny typ [9]. Dostupnosť živín v pôde sa mení pôsobením zrážok, teploty, vetra, pôdneho typu a pôdnej reakcie [7]. V roku 2013 bola pôdna reakcia najnižšia (4,35), bola extrémne kyslá. V ďalších rokoch bol zaznamenaný mierny nárast, najvyššiu hodnotu pH sme zaznamenali v roku 2023, čo bolo štatisticky preukazné ($P < 0,01$). Signifikantne vyššie hodnoty pH mali varianty N100PK a N150PK (tab. 3). Najnižšiu pôdnu reakciu sme za celé sledované obdobie evidovali na variante PK (4,32).



Graf 2: Priebeh úhrnu zrážok a produkcia sušiny /t.ha⁻¹/ 2008 - 2023

Tab. 2: Produkcia sušiny Legenda: Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey *t*-test, $P = 0,01$). r_T - Pearsonov korelačný koeficient pre vzťah medzi produkciou sušiny a priemernou teplotou, r_R - Pearsonov korelačný koeficient pre vzťah medzi produkciou sušiny a úhrnom zrážok, ** - významné rozdiely na úrovni 99%

Rok	CON	PK	N50PK	N100PK	N150PK
2008	2,63	2,7	3,23	4,61	5,08
2009	4,16	4,14	4,63	6,26	5,77
2010	8,4	9,73	9,64	9	13,36
2011	4,97	6,93	7,15	8,63	7,83
2012	3,49	3,49	3,3	4,98	5,68
2013	2,45	4,62	5,33	4,52	5,02
2014	6,13	7,34	8,4	7,64	9,18
2015	3,81	4,45	4,1	4,6	5,02
2016	5,17	6,93	7,44	9,29	9,76
2017	3,84	4,79	6,3	6,75	5,98
2018	2,52	2,77	3,44	2,42	3,94
2019	3,66	4,13	5	5,8	7,19
2020	4,54	7,11	7,24	7,78	10,69
2021	4,86	7	6,72	7,46	8,69
2022	3,17	2,55	3,17	4,93	6,14
2023	5,58	7,29	7,39	11,04	10,42
Priemer rokov	4,34 ^a	5,37 ^b	5,78 ^b	6,60 ^c	7,48 ^d
r_T	0,7030**	0,6324**	0,6636**	0,3571	0,6110**
r_R	-0,2768	-0,3785	-0,3975	-0,232	-0,3658

Obsah humusu dosiahol signifikantne najvyššie hodnoty v rokoch 2017 a 2018 (31,97 a 32,28 g.kg⁻¹), s následným poklesom v ďalších rokoch. Nehnojený variant mal štatisticky preukazne ($P < 0,01$) najvyšší obsah C_{ox} a nepreukazne vyšší obsah dusíka (tab. 3). Signifikantne najvyššiu zásobu fosforu a draslíka v pôde mal variant PK. Variant N150PK dosiahol druhé najvyššie hodnoty obsahu dusíka, fosforu a draslíka. Pri obsahu horčička bol evidovaný nárast s jeho maximálnou hodnotou na variante N150PK (445,20 mg.kg⁻¹). Pôdy na Slovensku sú dobre zásobené horčikom, čo potvrdili aj naše výsledky /5/. Zásoba prijateľného fosforu v pôde bola nízka, s vysokým obsahom prijateľného draslíka a veľmi vysokým obsahom horčička.

Tab. 3: Vplyv hnojenia /variantov/ na priemerné hodnoty agrochemických vlastností pôdy
Legenda: Rozdielne indexy znamenajú štatisticky preukazné rozdiely medzi úrovňami faktorov (Tukey *t*-test, $P = 0,01$). ** - signifikantné rozdiely na úrovni 99%

Faktor		pH	C _{ox} g.kg ⁻¹	N g.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹
Varianty	C0N	4,52 ^b	27,07^b	2,86 ^a	4,29 ^a	107,45 ^{ab}	442,20 ^a
	PK	4,32 ^a	24,91 ^a	2,57 ^a	22,55^b	119,49^b	393,87 ^a
	N50PK	4,47 ^{ab}	24,70 ^a	2,65 ^a	3,25 ^a	105,35 ^a	426,01 ^a
	N100PK	4,62 ^{bc}	24,85 ^a	2,73 ^a	3,55 ^a	107,59 ^{ab}	413,64 ^a
	N150PK	4,74^c	25,42 ^{ab}	2,72 ^a	6,31 ^a	108,67 ^{ab}	445,20 ^a
	<i>P-value</i>	0,0000**	0,0314**	0,6804	0,0000**	0,0053**	0,3468

ZÁVER

Za sledované obdobie (2008 – 2023) môžeme konštatovať pozitívny vplyv hnojenia na trávne porasty v meniacich sa klimatických podmienkach. Rok 2010 s úhrnom zrážok 711 mm a priemernou teplotou 16,2 °C za vegetáciu mal najvyššiu priemernú produkciu sušiny (10,03 t.ha⁻¹). V priemere rokov bola maximálna produkcia sušiny (7,48 t.ha⁻¹) evidovaná na variante s dávkou dusíka 150 kg.ha⁻¹, 22,5 kg P.ha⁻¹ a 60 kg K.ha⁻¹. Hnojenie signifikantne vplývalo na nárast produkcie sušiny. Na posudzovaných variantoch sa potvrdila pozitívna korelácia medzi úrodou sušiny a úhrnom zrážok za vegetáciu, okrem variantu N100PK. Najvyššiu pôdnu reakciu (4,74) sme zaznamenali na variante N150PK a zásoba organickej hmoty a dusíka bola najvyššia na nehnojenom variante.

LITERATÚRA

- /1/ Holúbek, R., Jančovič, J., Gregorová, H., Novák, J., Ďurková, E.: Krmovinnárstvo – manažment pestovania a využívania krmovín. 1. vyd. Nitra: SPU, 2007: 420.
- /2/ Glaba, T., Kacorzkyb, P.: Root distribution and herbage production under different management regimes of mountain grassland. Soil and Tillage Research, 113 (2), 2011: 99-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.02.008>
- /3/ Humbert, J., Dwyier, J.M., Andrey, A., Arlettaz, R.: Impacts of nitrogen addition on plant biodiversity in mountain grasslands depend on dose, application duration and climate: a systematic review. Glob. Chang. Biol., 22, 2016: 110-120. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12986>

- /4/ Kizeková, M., Feoli, E., Parente, J., Kanianska, R.: Analysis of the effects of mineral fertilization on species diversity and yield of permanent grasslands: revisited data to mediate economic and environmental needs. *Community Ecology*, 18, 2017: 295-304.
DOI: <https://doi.org/10.1556/168.2017.18.3.810.1556/168.2017.18.3.8>
- /5/ Kobza, J. et al.: Aktuálny stav a vývoj obsahu fosforu, draslíka a horčíka v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In *Agrochémia*, 50, 2010: 1, 3–8.
- /6/ Kováč, L., Jakubová, J.: Teplomilné plodiny na ťažkých pôdach a ekonomika ich pestovania. Lužianky: NPPC, 2017: 74.
- /7/ Maathuis, F.: Physiological function of mineral macronutrients. In *Current Opinion in Plant Biology* 12 (3), 2009: 250-258.
- /8/ Markovič, L., Garčár, I.: Svetová meteorologická organizácia potvrdila, že rok 2023 prekonal globálny teplotný rekord. 2024. <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1421>
- /9/ Skládanka, J. et al.: Pícninářství. Brno: MU, 2014: 368 s.
- /10/ Vargová, V., Kováčiková, Z.: Sucho na hnojenom trávnom poraste [Dry on fertilized grassland]. *Úroda* 7, roč. LXX, 2023, s. 94-96. ISSN 0139-6013. <https://uroda.cz/sucho-na-hnojenom-travnom-poraste/>

Pod'akovanie

Tento príspevok bol spracovaný z výsledkov riešenia Rezortného projektu výskumu a vývoja (RPVaV) „Environmentálne prínosy inovatívnych stratégií obhospodarovania trávnych porastov a využitia krajiny“.

POZIČNÝ POLYMORFIZMUS HOMOLÓGOV GÉNOV PR-10 BIELKOVÍN LÁSKAVCA V PROSTREDÍ KONTAMINÁCIE KADMIOM

POSITIONAL POLYMORPHISM OF HOMOLOGOUS GENES OF PR-10 PROTEINS IN AMARANTHUS GROWN UNDER CADMIUM CONTAMINATION

Dagmar Moravčíková¹, Silvia Farkasová², Aqsa Abbas¹, Lucia Urbanová², Jana Žiarovská¹

¹Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FAPZ, Ústav rastlinných a environmentálnych vied, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, jana.ziarovska@uniag.sk

²Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, VC AgroBioTech, 949 76 Nitra

Summary

The sequence similarity and homology of PR-10 allowed the development of a marker technique that analyzes the length polymorphism of homologs with similarity to Bet v 1, a major birch allergen. The aim of this study was to analyze the applicability of the BBAP method for amaranth to characterize changes in positional and length polymorphism of PR-10 homologs in response to the abiotic stress of cadmium contamination. The lengths of the BBAP fragments obtained were mostly represented in the range of values 115-265 bp for *A. cruentus* and 300-200 bp for *A. hypochondriacus*. The BBAP profiles obtained for control plants and plants growing in cadmium-contaminated environments retained profiles characteristic of the weed type, but not in relation to stress.

Key words: amaranth, cadmium, stress, BBAP markers

Súhrn

Sekvenčná podobnosť a homológia PR-10 umožnila vývoj markérovacej techniky, ktorá analyzuje dĺžkový polymorfizmus homológov s podobnosťou s Bet v 1, hlavným alergénom brezy. Cieľom tejto štúdie bolo analyzovať aplikovateľnosť BBAP metódy pre láskavec na účely charakteristiky zmien pozičného a dĺžkového polymorfizmu homológov PR-10 v odpovedi na abiotický stres kontaminácie kadmíom. Dĺžky získaných BBAP fragmentov boli v prípade *A. cruentus* väčšinou zastúpené v rozpätí hodnôt 115 – 265 bp a v prípade *A. hypochondriacus* v rozpätí 300 – 200 bp. Získané BBAP profily sa v prípade kontrolných rastlín a rastlín rastúcich v prostredí kontaminovanom kadmíom si zachovávali profily charakteristické pre typ pletivá, nie vo vzťahu k stresu.

Kľúčové slová: láskavec, kadmium, stres, BBAP markéry

ÚVOD

Biotické a abiotické stresy negatívne ovplyvňujú ako zdravie, tak aj kondíciu rastlín, ktoré však majú širokú škálu mechanizmov na ochranu pred rôznymi formami fyzikálnych, chemických a biologických stresov. Stres v rastlinách vyvoláva biochemické a fyziologické zmeny, ako napríklad fyzické spevnenie bunkovej steny prostredníctvom lignifikácie, suberizácie a ukladania kalózy alebo produkciu fenolových zlúčenín, fytoalexínov a proteínov

súvisiacich s patogenézou (PR), ktoré následne zabraňujú invázii patogénov. PR proteíny zahŕňajú rozmanitú rodinu proteínov, ktoré sú v rastlinách široko distribuované a sú súčasťou imunitného systému rastlín, pričom sa podieľajú na lokálnych aj systémových obranných reakciách.

Špecifickou skupinou v rámci PR proteínov je PR-10 skupina. Okrem procesov súvisiacich s obrannými mechanizmami rastlín je pre človeka v mnohých prípadoch dôležitá ako jeden z rastlinných alergénov /1/. Táto skupina proteínov obsahuje intracelulárne obranné proteíny s aktivitou a štruktúrou podobnou ribonukleázam, ktoré boli ako prvé študované v zemiakoch, špargli, fazuli, ryži a prose. Sú kyslej povahy a nemajú žiadny signálny peptid, čo naznačuje, že sú intracelulárne lokalizované /2/. Indukované sú ako odpoveď na rôzne patogény. Majú spoločnú sekvenčnú homológiu s hlavným peľovým alergénom brezy. Indukované sú aj v reakcii na stresové podnety, ako je napríklad vyčerpanie auxínu. Táto skupina sa podieľa aj na fyziologicky významných procesoch, ako je embryogenéza. Medzi rôznymi členmi skupiny proteínov súvisiacich s patogenézou PR-10 existuje významná homológia /3, 4/.

Sekvenčná podobnosť a homológia PR-10 umožnila vývoj markérovacej techniky, ktorá analyzuje dĺžkový polymorfizmus homológov s podobnosťou s Bet v 1, hlavným alergénom brezy - BBAP technika (Bet v 1 based amplified polymorphism) /5/. Táto metóda je pre kvitnúce rastliny univerzálnym markérovacím systémom /6,7/.

Cieľom tejto štúdie bolo analyzovať aplikovateľnosť BBAP metódy na účely charakteristiky zmien pozičného a dĺžkového polymorfizmu homológov PR-10 v odpovedi na abiotický stres kontaminácie kadmiumom.

MATERIÁL A METÓDY

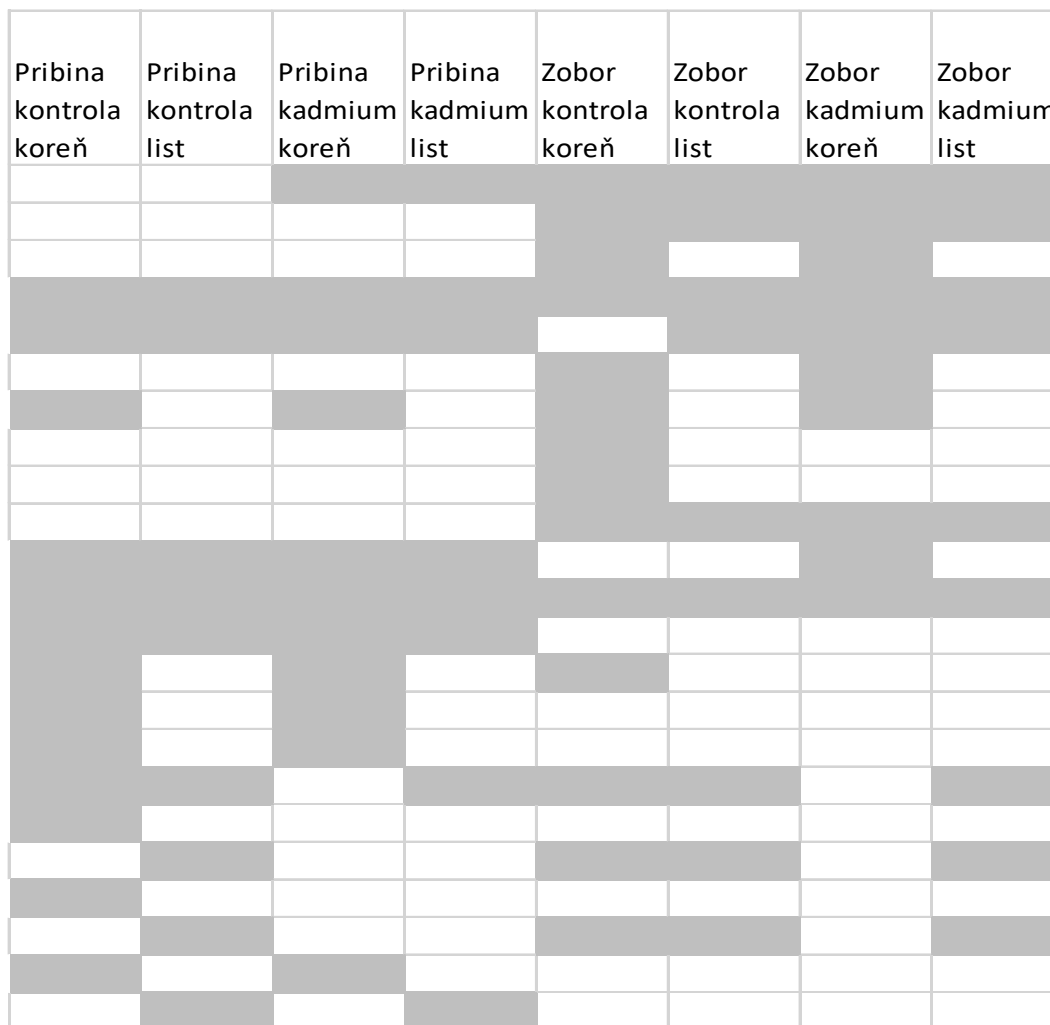
Ako biologický materiál boli použité odrody láskavca Pribina (*A. cruentus*) a Zobor (*A. hypochondriacus*). Pokus byl koncipovaný ako nádobový, kedy pokusné rastliny boli pestované v kvetináčoch s objemom 1 l zmesi záhradného substrátu a piesku pomere 2:1 v laboratórnych podmienkach. V ovplyvnených rastlinách bola realizovaná zálievka Cd 15 ng/mL, kontrolné rastliny mali klasickú zásielku vodou. Rastliny boli zalievané tri krát týždenne. Po troch týždňoch rastu boli rastliny rozdelené na koreňovú a nadzemnú časť a použité na izoláciu DNA.

DNA bola izolovaná zo zmesi štyroch rastlín z jedného kvetináča jako zmesná DNA. gDNA bola extrahovaná súpravou GeneAll podľa protokolu výrobcu. Koncentrácia DNA bola meraná Nanofotometra (Implen).

BBAP analýza bola uskutočnená podľa protokolu Žiarovská a Zeleňáková (2019) pomocou priameho a degenerovaného spätného prajmera.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

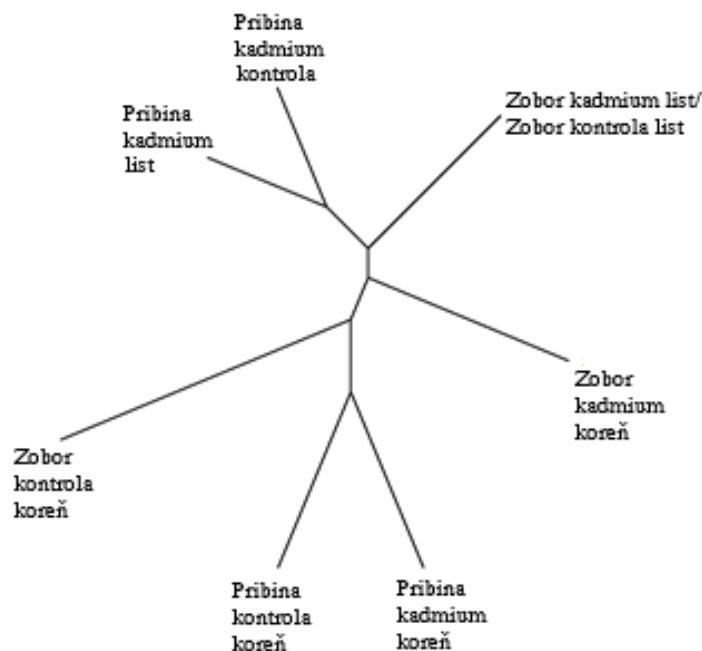
Metódou BBAP bolo pre analyzované druhy láskavca získaných celkovo 41 amplikónov pre *A. cruentus* a 42 amplikónov pre *A. hypochondriacus*. Dĺžky získaných fragmentov boli v prípade *A. cruentus* väčšinou zastúpené v rozpätí hodnôt 115 – 265 bp a v prípade *A. hypochondriacus* v rozpätí 300 – 200 bp, čo môže poukazovať na rozdielnu distribúciu homológov PR-10 bielkovín v ich genotypoch (obrázok 1). Pri oboch druhoch boli získané polymorfné profily, čo je v súlade s publikovanými vlastnosťami tejto techniky /5,6,7/.



Obrázok 1. Distribúcia získaných BBAP amplicónov v analyzovaných odrodách ľaskavca.

V prípade oboch druhov bol spoločný jediný amplicón s dĺžkou 256 bp, ktorý bol zároveň amplifikovaný vo všetkých vzorách. Získané BBAP profily sa v prípade kontrolných rastlín a rastlín rastúcich v prostredí kontaminovanom kadmiiom si zachovávali profily charakteristické pre typ pletivá, nie vo vzťahu k stresu (obrázok 2).

Aj keď BBAP metóda nie vhodnou, v prípade markérovacích techník sú viaceré z nich schopné analyzovať pozičný polymorfizmus jako odraz zmien spôsobených stresom. Analýza iPBS profilov ľaskavca rastúceho pod vplyvom prítomnosti ťažkých kovov v rastovom médiu preukázala ich schopnosť zaznamenania zmien na úrovni celogenómového polymorfizmu s rôznym stupňom polymorfizmu v závislosti od použitého markéra /8/.



Obrázok 2. Podobnosť získaných BBAP amplicónov v analyzovaných odrodách a variantoch láskavca.

ZÁVER

Získané BBAP profily sa v prípade kontrolných rastlín a rastlín rastúcich v prostredí kontaminovanom kadmium si zachovávali profily charakteristické pre typ pletiva, nie vo vzťahu k stresu, takže táto markérovacia technika nie je vhodná na účely charakteristiky zmien pomocou mapovania polymorfizmu.

LITERATÚRA

- /1/ Holm, J., Ferreras, M., Ipsen, H., Wurtzen, P.A., Gajhede, M., Larsen, J.N. et al.: Epitope grafting, re-creating a conformational Bet v 1 antibody epitope on the surface of the homologous apple allergen Mal d 1. J. In Biol. Chem. 286, 2011: 17569-17578.
- /2/ Shivakumar, P.D., Vasanthi, N.S., Shetty, H.S. and Smedegaard-Petersen, V.: Ribonucleases in the seedlings of pearl millet and their involvement in resistance against downy mildew disease. European Journal of Plant Pathology, 106, 2000: 825-836.
- /3/ Vidhyasekaran, P., 2002. Inducible plant proteins. Bacterial disease resistance—molecular biology and biotechnological applications. Food Products Press, Binghamton/New York.
- /4/ Hwang, H.J., Kim, H., Yu, H.J., Oh, M.H., Lee, I. and Kim, S.G.: Gene encoding pathogenesis-related 10 protein of *Lithospermum erythrorhizon* is responsive to exogenous stimuli related to the plant defense system. Plant science, 165, 2003: 1297-1302.
- /5/ Žiarovská, J., Urbanová, L. Utilization of Bet v 1 homologs based amplified profile (BBAP) variability in allergenic plants fingerprinting. Biologia 77, 2022: 517-523.
- /6/ Speváková, I., Urbanová, L., Kysel, M., Bilčíková, J., Farkasová, S., Žiarovská, J.: BBAP amplification profiles of apple varieties. Sci Technol Innov 13, 2021: 1-6.
- /7/ Urbanová, L., Žiarovská, J.: Variability of DNA based amplicon profiles generated by Bet v 1 homologous among different vegetable species. Acta fytotechn zootech 24, 2021: 1–6.
- /8/ Farkasová, S., Žiarovská, J., Moravčíková, D., Hricová, D.: Markéry retrotranspozónov v hodnotení zmien polymorfizmu pod stresom ťažkých kovov. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023. (Sborník recenzovaných vědeckých prací) 2023, 189–193.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory projektu SK-PL-23-0063 Riziká ťažkých kovov pre vybrané plodiny klasifikované ako superpotraviny 21. storočia.

VPLYV Mg IMISIÍ NA AKUMULÁCIU MEDI A ZINKU V MAKROMYCÉTACH

THE EFFECT OF Mg IMMISSIONS ON THE ACCUMULATION OF COPPER AND ZINC IN MACROMYCETES

Ivan Mihál, Margita Kuklová, Ján Kukla

Ústav ekológie lesa v.v.i. Slovenská akadémia vied, E. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovensko
e-mail: mihal@ife.sk

Summary

In this work, we present the current state of the content of copper and zinc in the fruiting bodies of macromycetes in the vicinity of the magnesite plant in Lubeník, depending on the immission zones C and D. Copper and zinc are essential microelements important for the growth and development of macromycetes. Fungi are generally among the organisms that can take relatively large amounts of various elements from the substrate to a large extent. The data obtained by us are the first data on the chemistry of macromycetes from an area with alkaline pollutants. The highest values of Cu were found in the species *Geastrum rufescens* (91.32 mg kg⁻¹) and *Lepista personata* (77.98) in the immission zone C and in *Clitocybe nebularis* (51.27) and *Hymenochaete rubiginosa* (42.3) in the immission zone D. The highest Zn values were found in *Inosperma erubescens* (232.65 mg kg⁻¹) and *Lycoperdon perlatum* (171.14) in zone C and in *Lepista personata* (104) and *Clitocybe nebularis* (80.8 mg kg⁻¹) in zone D. For comparison Cu values from 77.2 to 123 mg kg⁻¹, Zn values ranged from 25 to 200 mg kg⁻¹ were found in fruiting bodies of wild mushrooms in industrially unpolluted areas.

Keywords: magnesite immissions, macromycetes, copper and zinc content, Central Slovakia

Súhrn

V práci uvádzame aktuálny stav obsahu medi a zinku v plodniciach makromycét v okolí magnezitového závodu v Lubeníku v závislosti od imisných pásiem C a D. Meď a zinok sú nevyhnutné mikroelementy dôležité pre rast a vývin makromycét. Huby všeobecne patria medzi organizmy, ktoré dokážu zo substrátu vo veľkej miere prijímať pomerne veľké množstvá rôznych prvkov. Nami získané údaje sú prvými údajmi o chemizme makromycét z oblasti so zásaditými polutantmi. Najvyššie hodnoty Cu boli zistené u druhov *Geastrum rufescens* (91,32 mg kg⁻¹) a *Lepista personata* (77,98) v imisnom pásme C a u *Clitocybe nebularis* (51,27) a *Hymenochaete rubiginosa* (42,3) v imisnom pásme D. Najvyššie hodnoty Zn boli zistené u *Inosperma erubescens* (232,65 mg kg⁻¹) a *Lycoperdon perlatum* (171,14) v pásme C a u *Lepista personata* (104) a *Clitocybe nebularis* (80,8 mg kg⁻¹) v pásme D. Pre porovnanie, v plodniciach divo rastúcich húb v priemyselne neznečistených oblastiach boli zistené hodnoty Cu od 77,2 do 123 mg kg⁻¹, rozpätie hodnôt Zn bolo od 25 do 200 mg kg⁻¹.

Kľúčové slová: magnezitové imisie, makromycéty, obsah medi a zinku, stredné Slovensko

ÚVOD

Huby všeobecne patria medzi organizmy, ktoré dokážu zo substrátu vo veľkej miere prijímať pomerne veľké množstvá rôznych prvkov. Z tohto pohľadu je potrebné brať zreteľ na

túto vlastnosť, a to hlavne pre mikroprvky. Táto skupina prvkov, kam patria ako esenciálne tak aj potenciálne toxické a veľmi toxické prvky, môže predstavovať potenciálne riziko z pohľadu konzumenta a to hlavne v prípade pravidelnej a dlhodobej konzumácie /1/. Klasickým príkladom v tomto smere je okolie magnezitových závodov v Lubeníku a Jelšave, ktoré produkujú množstvo imisií vznikajúcich pri spracovaní magnezitu. Výskumu mykobioty v okolí magnezitových závodov Jelšava a Lubeník sa v minulosti venovalo viacero autorov, pričom v každej práci sa konštatuje výrazný negatívny vplyv imisného znečistenia na mykobiotu /2–6/.

V tejto práci uvádzame aktuálny stav obsahu medi a zinku v plodniciach makromycét v okolí magnezitového závodu v Lubeníku v závislosti od imisných pásiem, a zároveň takto chceme prispieť k predchádzajúcim výskumom mykobioty uvedeného územia.

MATERIÁL A METÓDY

Aktuálny monitoring mykobioty sme uskutočňovali počas jesenných mesiacov v rokoch 2021 až 2024 na výskumných plochách situovaných v jednotlivých pásmach imisného ohrozenia A až D v okolí magnezitky v Lubeníku /7/. Najnovšie získané údaje sme porovnávali s predchádzajúcim výskumom mykobioty /2–6/. V imisných pásmach C a D sme odobrali plodnice viacerých druhov makromycét, v ktorých sme stanovili obsahy vybraných chemických prvkov, medzi nimi aj cieľové prvky meď (Cu) a zinok (Zn). Celkové množstvá Cu a Zn boli stanovené po mineralizácii vzoriek v koncentrovanom roztoku HNO₃ metódou FAAS s použitím SensAA (Braeside, Austrália). Systematické zaradenie jednotlivých druhov makromycét sa vykonalo na základe makroskopických a v sporných prípadoch i na základe mikroskopických determinačných znakov, pomocou dostupných mykologických atlasov a determinačných kľúčov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsahy Cu a Zn v plodniciach vybraných makromycét uvádzame v tab. 1, z ktorej vidno, že najvyššie hodnoty Cu boli zistené u druhov *Geastrum rufescens* (91,32 mg kg⁻¹) a *Lepista personata* (77,98) v pásme C a u *Clitocybe nebularis* (51,27) a *Hymenochaete rubiginosa* (42,3) v pásme D. Najvyššie hodnoty Zn boli zistené u *Inosperma erubescens* (232,65 mg kg⁻¹) a *Lycoperdon perlatum* (171,14) v pásme C a u *Lepista personata* (104) a *Clitocybe nebularis* (80,8 mg kg⁻¹) v pásme D.

Z hľadiska chemizmu húb treba pripomenúť, že plodnice húb obsahujú veľké množstvo minerálnych látok. Nevyhnutnými makroelementmi pre huby sú vodík, uhlík, dusík, kyslík, fosfor, síra, draslík a horčík. Ako nevyhnutné mikroelementy môžeme uviesť železo, zinok, mangán, meď a molybdén /8/. Z toho vyplýva, že huby pre svoj rast potrebujú aj uvedené makro- a mikroelementy, ktoré však v hubách môžu dosahovať toxické koncentrácie, najmä v imisiami znečistených oblastiach. V hubách zozbieraných v blízkosti bývalých kovohút v okolí Rudňan sa vyskytovalo napríklad v masliakoch 52,2 mg kg⁻¹ ortuti, olova bolo 2,15 mg kg⁻¹, v prípade zinku to bolo 107 mg kg⁻¹ (u masliaka *Suillus grevillei*), 104 mg kg⁻¹ bola hodnota medi (tiež u *Suillus grevillei*) /9/. Podobne, na tomto istom území sa výskumom zistilo, že v hubách boli Slovenské potravinové zákonné limity prekročené o 9,8 % pre Cu, pričom najvyššia hodnota Cu (394,5 mg kg⁻¹) bola zistená u druhu *Hysterangium crassum* /10/. Obsah ťažkých kovov v plodniciach húb je druhovo špecifický. Silné akumulčné schopnosti

prejavujú druhy rodu *Amanita*, *Agaricus* a *Boletus*. Obsah kovu veľmi závisí od spôsobu výživy huby, t.j. od jej príslušnosti do trofickej skupiny. Napr. v hubách z parkov v Helsinkách sa našlo 24 až 34,5 ppm zinku /11, 12/.

Tab. 1. Obsah Cu a Zn u vybraných druhov makromycét (mg kg^{-1}) v imisných zónach C a D v okolí magnezitového závodu v Lubeníku

Zóna	Druhy	Cu	Zn	Eko
C	<i>Amaropostia stiptica</i>	8,79	124,16	LS
	<i>Clitocybe phyllophila</i>	73	68,18	TS
	<i>Cortinarius</i> sp.	10,45	116,76	EC
	<i>Geastrum rufescens</i>	91,32	108,1	TS
	<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	36,21	13,78	LS
	<i>Inosperma erubescens</i>	25,3	232,65	EC
	<i>Lepista nuda</i>	31,96	128,38	TS
	<i>Lepista personata</i>	77,98	115,39	TS
	<i>Lycoperdon perlatum</i>	36,96	171,14	TS
	<i>Russula cyanoxantha</i>	24,56	73,01	EC
D	<i>Amaropostia stiptica</i>	2,47	33,21	LS
	<i>Clitocybe nebularis</i>	51,27	80,8	TS
	<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	42,3	17,55	LS
	<i>Lepista personata</i>	26,97	104	TS
	<i>Russula cyanoxantha</i>	24,7	44,17	EC

Poznámka: Eko – ekotrofická skupina: LS - lignikolný saprotrof, TS - terestrický saprotrof, EC - ektomykorizný symbiont

Na druhej strane, sledoval sa aj obsah ťažkých kovov, zvlášť Cu a Zn v plodniciach divo rastúcich húb v priemyselne neznečistených oblastiach. Takéto výsledky uvádzame v tab. 2, z ktorej vidno, že zistené rozpätie hodnôt Cu bolo od 77,2 do 123 mg kg^{-1} , rozpätie hodnôt Zn bolo od 25 do 200 mg kg^{-1} . Napr. z neznečistených oblastí severovýchodného Poľska sa priemerný obsah Cu a Zn (v g g^{-1} suchej hmotnosti biomasy) pohyboval od 10,6 do 123,1 u medi a od 68,3 do 184 u zinku /16/. Zároveň pri porovnaní s odporúčaným diétnym príjmom pre Cu a Zn, sa preukázalo, že 100 gramov čerstvej masovej porcie húb s najvyšším obsahom týchto prvkov môže spĺňať dopyt po Cu na úrovni 203% a po Zn na úrovni 16 až 22%. Porovnanie obsahu skúmaných prvkov obsiahnutých v jednej porcii húb s toxikologickými limitmi príjmu pre rôzne chemické prvky a hornou hladinou príjmu neukázalo žiadne riziko toxicity pre hodnotené druhy húb.

Keď porovnáme hodnoty niektorých príbuzných druhov makromycét (*Lycoperdon perlatum*, rody *Cortinarius* a *Russula*) z obidvoch tabuliek, môžeme konštatovať, že u druhu *Lycoperdon perlatum* bol obsah Cu 36,96 mg kg^{-1} v tab. 1 približne rovnaký ako v tab. 2 (20 – 100 mg kg^{-1}). Výrazne nižšie hodnoty u druhov rodu *Russula* v tab. 1 (24,7 mg kg^{-1} Cu a 73,01 mg kg^{-1} Zn) oproti hodnotám v tab. 2 (77,2 mg kg^{-1} Cu a 115,9 mg kg^{-1} Zn) sú prekvapujúce, vzhľadom na výrazné imisné znečistenie v okolí magnezitového závodu (tab. 1). Naopak, u rodu *Cortinarius* sme v okolí magnezitového závodu (tab. 1) zistili vyššiu hodnotu obsahu Zn (116,76 mg kg^{-1}) oproti imisne neznečistenému prostrediu v tab.2 (92,2 mg kg^{-1} Zn).

Tab. 2. Obsah Cu a Zn u vybraných druhov makromycét (mg kg^{-1}) v oblastiach bez imisného znečistenia

Druhy	Cu	Zn	Zdroj
<i>Agaricus silvicolae-similis</i>		25 – 200	/13 - 15/
<i>Bovistella utriformis</i>	20 – 100		/13 - 15/
<i>Lycoperdon perlatum</i>	20 – 100		/13 - 15/
<i>Macrolepiota procera</i>		25 – 200	/13 - 15/
<i>Chlorophyllum rhacodes</i>		25 – 200	/13 - 15/
<i>Cortinarius caperatus</i>		90,2	/16/
<i>Macrolepiota pocera</i>	123		/16/
<i>Russula heterophylla</i>		115,9	/16/
<i>Russula vinosa</i>	77,2		/16/
<i>Xerocomellus chrysenteron</i>		184	/16/

ZÁVER

V práci uvádzame aktuálny stav obsahu medi a zinku v plodniciach makromycét v okolí magnezitového závodu v Lubeníku v závislosti od imisných pásiem C a D. Meď a zinok sú nevyhnutné mikroelementy dôležité pre rast a vývin makromycét. Huby všeobecne patria medzi organizmy, ktoré dokážu zo substrátu vo veľkej miere prijímať pomerne veľké množstvá rôznych prvkov. Nami získané údaje sú prvými údajmi o chemizme makromycét z oblasti so zásaditými polutantmi. Najvyššie hodnoty Cu boli zistené u druhov *Geastrum rufescens* a *Lepista personata* v imisnom pásme C a u *Clitocybe nebularis* a *Hymenochaete rubiginosa* v imisnom pásme D. Najvyššie hodnoty Zn boli zistené u *Inosperma erubescens* a *Lycoperdon perlatum* v pásme C a u *Lepista personata* a *Clitocybe nebularis* v pásme D.

LITERATÚRA

- /1/ Árvay J. 2024. Jedlé huby: dar z lesa plný zdravia, ale aj skrytých hrozieb. In: Árvay J., Lakatošová J. (eds.): Huby – vieme, čo jeme? SPU Nitra, p. 9–25.
- /2/ Blanár D., Guttová A., Mihál I., Plášek V., Hauer T., Palice Z., Ujházy K. 2019. Effect of magnesite dust pollution on biodiversity and species composition of oak-hornbeam woodlands in the Western Carpathians. *Biologia*, Bratislava, 74, 12, p. 1591–1611.
- /3/ Cicák A., Mihál I., Kulfan J., Šušlík V., Zach P., Krištín A. 1999. Health state of forest tree species and selected groups of fungi and animals in surroundings of a magnesium factory (central Slovakia). *Ekológia (Bratislava)* 18, p. 211–222.
- /4/ Cicák A., Kellerová D., Kulfan J., Mihál I. 2011. Imisie ako škodlivý činiteľ. p. 555–573. In: Barna M., Kulfan J., Bublinec E. (eds.): Buk a bukové ekosystémy Slovenska. VEDA, Bratislava, 636 pp.
- /5/ Mihál I., Blanár D. 2007. Mykoflóra v oblasti magnezitového závodu Slovomag a.s., Lubeník (Slovenské rudohorie - Revúcka vrchovina). *Reussia*, 4, 1-2, p. 35–59.
- /6/ Mihál I., Blanár D., Glejdura S. 2015. Enhancing knowledge of mycoflora (Myxomycota, Zygomycota, Ascomycota, Basidiomycota) in oak-hornbeam forests in the vicinity of the magnesite plants of Lubeník and Jelšava (Central Slovakia). *Thaiszia – J. Bot.*, Košice, 25, 2, p. 121–142.
- /7/ Mihál I., Kuklová M., Pivková I. 2023. Aktuálny stav mykobioty pod vplyvom zásaditých imisii v okolí magnezitového závodu v Lubeníku (stredné Slovensko), p. 194–198. In: Hnilička F. (ed.): Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023. Sborník, ČZU Praha, ÚEL SAV Zvolen v.v.i., 230 pp.
- /8/ Lepšová A. 1981. Ťžké kovy a houby. *Mykologické listy*, 7, p. 15–18.
- /9/ Árvay J., Tomáš J., Hauptvogel M., Kopernická M., Kováčik A., Bajčan D., Massányi P. 2014. Contamination of wild-grown edible mushrooms by heavy metals in a former mercury-mining area. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49, 11, p. 815–827.
- /10/ Zimmermannová K., Svoboda L., Kalač P. 2001. Mercury, cadmium, lead and copper contents in fruiting bodies of selected edible mushrooms in contaminated middle Spiš region, Slovakia. *Ekológia (Bratislava)*, 20, p. 440–446.

- /11/ Laakaovirta, K., Alakuijala P. 1978. Lead, cadmium and mine contents of fungi in the parks of Helsinki. *Ann. Bot. Fennii*, 15, p. 254–257.
- /12/ Laakaovirta, K., Lodenius U. 1979. Mercury content of fungi in Helsinki. *Ann. Bot. Fennici*, 16, p. 208-212.
- /13/ Kalač P. 2012. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing Mushrooms. In: Andres S., Baumann N. (eds.): *Mushrooms - Types, Properties and Nutrition*. Nova Science, New York, p. 129–152.
- /14/ Kalač P. 2013. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, p. 209–218.
- /15/ Nitschke J., Modick H., Busch E., von Rekowski R.W., Altenbach H.-J. Mölleken H. 2011. A new colorimetric method to quantify β -1,3-1,6-glucans in comparison with total β -1,3-glucans in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 127, p. 791–796.
- /16/ Mironczuk-Chodakowska I., Socha K., Zujko M.E., Terlikowska K.M., Borawska M.H., Witkowska A.M. 2019. Copper, Manganese, Selenium and Zinc in Wild-Growing Edible Mushrooms from the Eastern Territory of “Green Lungs of Poland”: Nutritional and Toxicological Implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 3614: doi:10.3390/ijerph16193614

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory výskumného projektu VEGA 2/0045/22 a 2/0009/21.

ÚČINOK APLIKÁCIE NANOČASTÍC KREMÍKA NA ZMIERNENIE VPLYVU ŤAŽKÝCH KOVŮ NA FYZIOLOGICKÚ VÝKONNOSŤ RYŽE SIATEJ

EFFECT OF SILICON NANOPARTICLES APPLICATION ON MITIGATING THE IMPACT OF HEAVY METALS ON THE PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF RICE

Alena Sliacka Konôpková^{1,2}, Altafur Rahman³, Peter Fleischer jr. ¹, Hana Húdoková², Lýdia Štofániková¹, Mohammad Mukrram⁴, Daniel Kurjak^{1,2}

¹ Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

² Ústav ekológie lesa, Slovenská akadémia vied, v.v.i., Ľ. Štúra, 960 01 Zvolen

³ HUN-REN Centrum pre poľnohospodársky výskum, Brunszvik u. 2, 2462 Martonvásár

⁴ Food and Plant Biology Group, Department of Plant Biology, School of Agriculture, Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay

Summary

Heavy metal toxicity represents a serious environmental problem that negatively affects not only the availability of quality agricultural soil, but also directly impacts the performance, growth, and survival of plants cultivated in contaminated environments. In this context, the use of silicon nanoparticles (SiNPs) is increasingly discussed as they have the potential to mitigate the negative effects of a wide range of stressors. Therefore, presented study focuses on monitoring the effects of foliar application of SiNPs on rice plants grown in a hydroponic system with increased concentrations of cadmium and zinc. Although zinc is not classified as a heavy metal, it was chosen due to its similar toxic effects at high concentrations. Our results indicate that SiNPs have the potential to mitigate the negative impact of the tested metals on plants at the physiological process level.

Key words: Oryza sativa, silicon nanoparticles, cadmium, zinc, physiological response

Súhrn

Toxicita ťažkých kovov predstavuje vážny environmentálny problém, ktorý negatívne ovplyvňuje nielen dostupnosť kvalitnej poľnohospodárskej pôdy, ale aj priamo výkonnosť, rast a prežívanie rastlín pestovaných v zaťaženom prostredí. V tejto súvislosti sa čoraz častejšie diskutuje o využití nanočastíc kremíka (SiNPs), ktoré majú potenciál zmiernovať negatívne účinky širokej škály stresorov. Predkladaná práca sa preto zameriava na sledovanie účinku foliárnej aplikácie SiNPs na rastliny ryže siatej, pestované v hydroponickom roztoku so zvýšenými koncentraciami kadmia a zinku. Hoci zinok nie je klasifikovaný ako ťažký kov, bol vybraný pre jeho obdobné toxické účinky pri vysokých koncentráciách. Naše výsledky ukazujú, že SiNPs má na úrovni fyziologických procesov potenciál mitigovať negatívny vplyv testovaných kovov na rastliny.

Kľúčové slová: Oryza sativa, nanočastice kremika, kadmium, zinok, fyziologická odpoveď

ÚVOD

Toxicita ťažkých kovov je v súčasnosti jedným z najviac sa zrýchľujúcich nepriaznivých abiotických faktorov. Problém vychádza z rozsiahleho spektra antropogénnych a prírodných zdrojov, pričom sa predpokladá, že v budúcnosti bude problém s dostupnosťou kvalitnej

poľnohospodárskej pôdy. V dôsledku toho sa budú musieť využívať aj pôdy menej kvalitné, ba dokonca nevhodné pre pestovanie poľnohospodárskych plodín /1, 2/.

Toxicita ťažkých kovov spôsobuje v rastlinách blokovanie funkčných skupín mnohých enzýmov /3/, poruchy vo fotosyntetickej mašinérii /4/, tvorbu reaktívnych foriem kyslíka a súvisiace oxidačné poškodenie/5, 6/, ako aj narušenie minerálnej výživy /7/. Tieto zmeny v biochémii a fyziológii rastlín ovplyvňujú ich rast, vývin a výnos a môžu viesť až k úhynu jedincov /8/. Účinok ťažkých kovov na rastliny závisí od konkrétneho prvku a jeho koncentrácie v pôde, ale môže sa výrazne líšiť aj medzi rôznymi druhmi rastlín, či odrodami. Tieto rozdiely vychádzajú z odlišných dráh a mechanizmov absorpcie ťažkých kovov koreňmi /9/, ich uvoľňovania a redistribúcie do nadzemných častí rastliny a schopností rastlín vylučovať, chelatovať, alebo akumulovať ťažké kovy v špecifických štruktúrach /10/.

Jedným z nových a ekologicky a ekonomicky zaujímavých prístupov na zmiernenie toxických účinkov ťažkých kovov na rastliny je diskutovaná aplikácia nanočastíc kremíka (SiNPs). Rôzne štúdie potvrdili, že použitie SiNPs, či už vo forme foliárneho postreku, zálievky alebo počas predprípravy semien, zlepšuje fotosyntetickú efektivitu a rast rastlín v optimálnych aj suboptimálnych podmienkach /11, 12, 13, 14/. SiNPs navyše stimulujú antioxidačný obranný systém rastliny, ale môžu pôsobiť aj priamo na sekvestráciu ťažkých kovov prostredníctvom vytvárania komplexov s toxickými iónmi, zastavením ich príjmu, alebo ich kompartmentalizáciou v rastlinách /15, 16, 17/.

Cieľom predkladanej práce je preto zhodnotiť, ako nanočastice kremíka ovplyvňujú fyziologickú výkonnosť ryže siatej (*Oryza sativa*) vystavenej hyperkoncentráciám dvoch kovov a to kadmia a zinku. V práci je využitý ťažký kov kadmium a zinok, ktorý síce nie je klasifikovaný ako ťažký kov, ale kov prechodný a dokonca pre rastliny esenciálny, avšak pri zvýšených koncentráciách vykazuje podobné toxické účinky ako kovy ťažké (Makovníková et al. 2006).

MATERIÁL A METÓDY

Ako rastlinný materiál bola použitá ryža siata (*Oryza sativa*) odrody Janka. V prvom kroku sme dali naklíčiť semená (jeden deň pri teplote 37 °C a 5 dní pri teplote 27 °C). Následne boli rastliny preložené do hydroponického systému s Hoaglandovým roztokom a pestované pri izbovej teplote pod rastovými lampami s fotoperiódou 16:8 h. Po 1 týždni sme vytvorili 3 skupiny rastlín – kontrola, skupinu so zvýšeným obsahom zinku (2 mM síran zinočnatý) a skupinu so zvýšeným obsahom kadmia (50 µM dusičnan kademnatý). Po troch dňoch sme na polovicu rastlín z každej skupiny aplikovali postrekom nanočastice kremíka Aerosil 380 s veľkosťou nanočastíc do 20 µm a koncentráciou 100 mg/l roztoku. Tým sme vytvorili 6 variantov: (i) C – kontrola, (ii) SiNPs – kontrolné rastliny s aplikáciou SiNPs, (iii) Zn – zinkom stresované rastliny, (iv) Zn+SiNPs – zinkom stresované rastliny s aplikáciou SiNPs, (v) Cd – kadmiumom stresované rastliny, (vi) Cd – kadmiumom stresované rastliny s aplikáciou SiNPs. Po ďalších 4 dňoch boli realizované fyziologické merania, konkrétne bol stanovený:

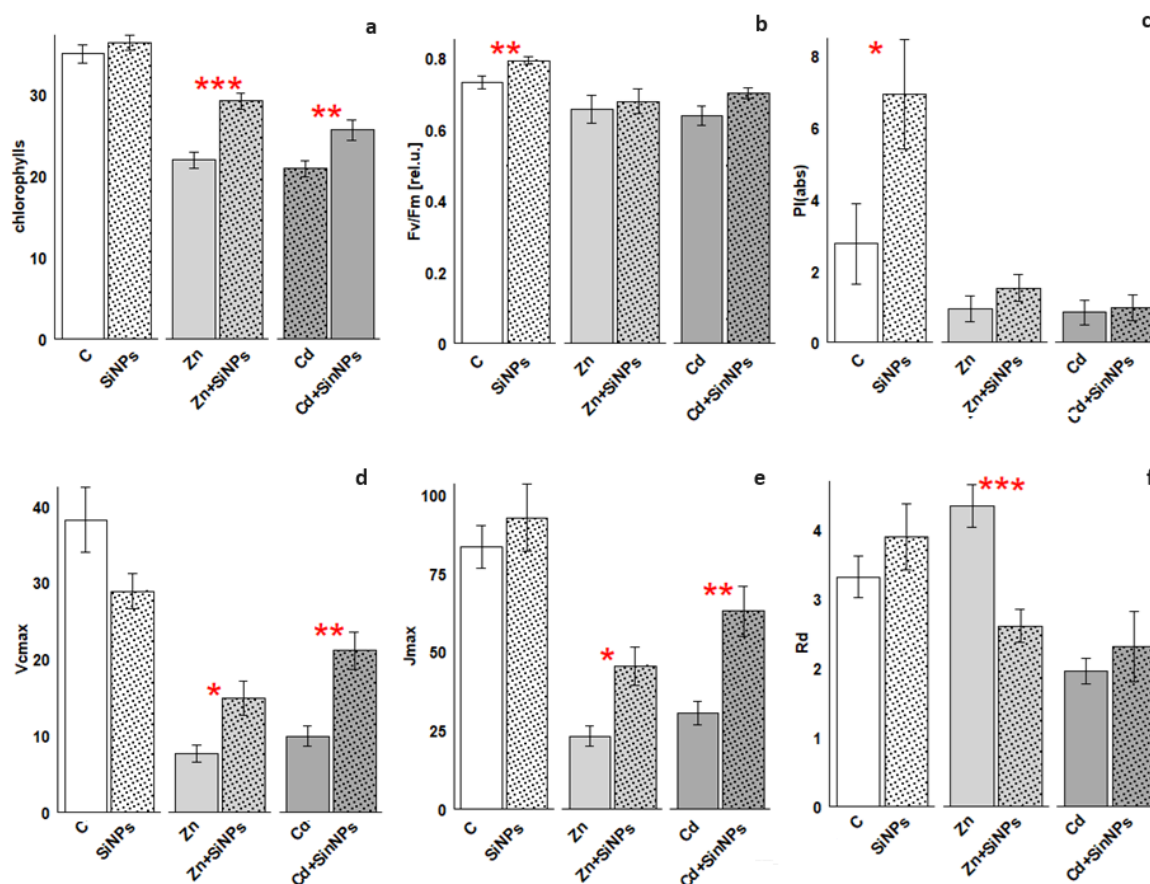
(i) obsah chlorofylu – stanovený bol pomocou chlorofylometra SPAD-502Plus (Konica Minolta), pričom sa vykonalo 12 meraní pre každý variant.

(ii) rýchla (OJIP) kinetika fluorescencie chlorofylu a – merania boli realizované pomocou fluorimetra HandyPEA (Hansatech). Najskôr boli listy 30 min adaptované na tmu a následne bola saturačným impulzom ($3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) vybudená fluorescencia chlorofylu a. Stanovený bol maximálny kvantový výťažok účinnosti fotochémiie PSII (Fv/Fm) a index fotochemickej výkonnosti (PI). Týmto spôsobom sme vykonali 15 meraní pre každý variant.

(iii) gazometrické merania – merania boli realizované pomocou otvoreného gazometrického systému Li6800 (Licor). Merané boli A/Ci krivky, pri ktorých sme postupne dvíhali koncentráciu CO₂ v komore z 0 ppm do cca 1500 ppm CO₂, pričom asimilácia CO₂ sa merala každých 15 s. Z kriviek sme následne stanovili maximálnu rýchlosť karboxylácie (V_{cmax}), maximálny elektrónový transport (J_{max}) a respiráciu v tme (R_d), pričom bolo pre každý variant urobených 7 meraní.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Negatívny vplyv zvýšených koncentrácií kadmia a zinku v hydroponickom roztoku na rastliny ryže siatej bol zaznamenaný takmer vo všetkých sledovaných parametroch, s výnimkou respirácie v tme (Graf 1). Po foliárnej aplikácii SiNPs na rastliny stresované kovmi sme však pozorovali výrazné zmiernenie tohto negatívneho efektu, konkrétne pri obsahu chlorofylov (Graf 1a), efektívite transportu elektrónov (Graf 1d), karboxylácii CO₂ (Graf 1e) a u rastlín stresovaných zinkom aj v prípade temnostnej respirácie (Graf 1f). Pri parametroch rýchlej kinetiky fluorescence chlorofylu *a* (Graf 1b, c) sme nezaznamenali pozitívny efekt u rastlín vystavených hyperkoncentráciám kovov, avšak pri kontrolných rastlinách sme po aplikácii SiNPs sledovali výrazné zvýšenie výkonnosti fotochémie PSII. V ostatných parametroch sme nezaznamenali žiadny efekt foliárnej aplikácie SiNPs u rastlín, ktoré rástli v kontrolných podmienkach.



Graf 1: Namerané priemerné hodnoty ± smerodajná odchýlka pre obsah chlorofylov (a), maximálny kvantový výťažok fotochémie PSII (b), index fotochemickej výkonnosti (c), maximálnu rýchlosť karboxylácie (d), maximálny elektrónový transport (e) a temnostnú respiráciu (f).

ZÁVER

Zistili sme, zvýšené koncentrácie kadmia a zinku majú negatívny vplyv na fyziologickú výkonnosť ryže siatej. Zároveň však potvrdila, že aplikácia nanočastíc kremíka môže tento negatívny účinok efektívne zmiernovať.

LITERATÚRA

- /1/ Z. Souri, K. Khanna, N. Karimi, a P. Ahmad, “Silicon and Plants: Current Knowledge and Future Prospects”, *J Plant Growth Regul*, roč. 40, č. 3, s. 906–925, jún. 2021, doi: 10.1007/s00344-020-10172-7.
- /2/ M. Greger, T. Landberg, a M. Vaculík, “Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species”, *Plants*, roč. 7, č. 2, s. 41, máj. 2018, doi: 10.3390/plants7020041.
- /3/ J. Tang et al., “Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost”, *Science of The Total Environment*, roč. 701, s. 134751, jan. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134751.
- /4/ A. Giannakoula, I. Therios, a C. Chatzissavvidis, “Effect of Lead and Copper on Photosynthetic Apparatus in Citrus (*Citrus aurantium* L.) Plants. The Role of Antioxidants in Oxidative Damage as a Response to Heavy Metal Stress”, *Plants*, roč. 10, č. 1, s. 155, jan. 2021, doi: 10.3390/plants10010155.
- /5/ J. Ma et al., “Impact of foliar application of syringic acid on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under heavy metal stress-insights into nutrient uptake, redox homeostasis, oxidative stress, and antioxidant defense”, *Front. Plant Sci.*, roč. 13, s. 950120, aug. 2022, doi: 10.3389/fpls.2022.950120.
- /6/ R. Sardar, S. Ahmed, A. A. Shah, a N. A. Yasin, “Selenium nanoparticles reduced cadmium uptake, regulated nutritional homeostasis and antioxidative system in *Coriandrum sativum* grown in cadmium toxic conditions”, *Chemosphere*, roč. 287, s. 132332, jan. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132332.
- /7/ N. Arif et al., “Influence of High and Low Levels of Plant-Beneficial Heavy Metal Ions on Plant Growth and Development”, *Frontiers in Environmental Science*, roč. 4, s. 69, 2016, doi: 10.3389/fenvs.2016.00069.
- /8/ G. U. Chibuike a S. C. Obiora, “Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods”, *Applied and Environmental Soil Science*, roč. 2014, s. e752708, aug. 2014, doi: 10.1155/2014/752708.
- /9/ L. E. Williams, J. K. Pittman, a J. L. Hall, “Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants”, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, roč. 1465, č. 1–2, s. 104–126, máj. 2000, doi: 10.1016/S0005-2736(00)00133-4.
- /10/ D. E. Salt, R. D. Smith, a I. Raskin, “Phytoremediation”, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, roč. 49, č. 1, s. 643–668, 1998, doi: 10.1146/annurev.arplant.49.1.643.
- /11/ J. Cui, T. Liu, F. Li, J. Yi, C. Liu, a H. Yu, “Silica nanoparticles alleviate cadmium toxicity in rice cells: Mechanisms and size effects”, *Environmental Pollution*, roč. 228, s. 363–369, sep. 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2017.05.014.
- /12/ Z. S. Khan et al., “Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium contaminated soil under different soil moisture levels”, *Environ Sci Pollut Res*, roč. 27, č. 5, s. 4958–4968, feb. 2020, doi: 10.1007/s11356-019-06673-y.
- /13/ A. Hussain, M. Rizwan, Q. Ali, a S. Ali, “Seed priming with silicon nanoparticles improved the biomass and yield while reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat grains”, *Environ Sci Pollut Res*, roč. 26, č. 8, s. 7579–7588, mar. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-04210-5.
- /14/ M. Rizwan et al., “Effect of foliar applications of silicon and titanium dioxide nanoparticles on growth, oxidative stress, and cadmium accumulation by rice (*Oryza sativa*)”, *Acta Physiol Plant*, roč. 41, č. 3, s. 35, mar. 2019, doi: 10.1007/s11738-019-2828-7.
- /15/ P. M. Kopittke et al., “Examination of the Distribution of Arsenic in Hydrated and Fresh Cowpea Roots Using Two- and Three-Dimensional Techniques”, *Plant Physiology*, roč. 159, č. 3, s. 1149–1158, jún. 2012, doi: 10.1104/pp.112.197277.
- /16/ Z. Lukačová, R. Švubová, J. Kohanová, a A. Lux, “Silicon mitigates the Cd toxicity in maize in relation to cadmium translocation, cell distribution, antioxidant enzymes stimulation and enhanced endodermal apoplasmic barrier development”, *Plant Growth Regul*, roč. 70, č. 1, s. 89–103, máj. 2013, doi: 10.1007/s10725-012-9781-4.

/17/ D. K. Tripathi, S. Singh, V. P. Singh, S. M. Prasad, D. K. Chauhan, a N. K. Dubey, "Silicon Nanoparticles More Efficiently Alleviate Arsenate Toxicity than Silicon in Maize Cultiver and Hybrid Differing in Arsenate Tolerance", *Front. Environ. Sci.*, roč. 4, júl. 2016, doi: 10.3389/fenvs.2016.00046.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla s finančnou podporou projektu APVV-23-0318 a projektu VEGA-1-0285-23.

STABILITA ÚROD V OSEVNOM POSTUPE S RÔZNYM ZASTÚPENÍM OBILNÍN

CROP ROTATION PRODUCTION STABILITY UNDER DIFFERENT SHARES OF CEREALS

Norbert Britaňák, Miriam Kizeková, Ľubica Malovcová, Miroslava Apacsová-Fúsková

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

Summary

In this paper we have analysed the production of grain crops in three crop rotations differed by percentage of cereals within, using two methods – temporal stability (S) and time-lag analysis (TLA). Peas, winter wheat and spring barley were crops included in these three crop rotations. There was a decrease in crops yield, accompanied by a temporal stability (S) during almost four decades of the experiment. Using TLA, negative values were recorded at the end of the experimental period. They, both, point out to lower level of stability and regression (younger stage of succession) in the development of crop yields. This was most evident in crop rotation with 80% share of cereals.

Key words: crop rotation, cereals, agroecosystem, long-term experiment

Súhrn

V predloženom príspevku sme analyzovali pomocou dvoch metód [dočasná stabilita (S) a časového oneskorenia (TLA)] produkciu zrnín v troch osevných postupoch odlišujúcich sa percentuálnym zastúpením obilnín. Hrach siaty, pšenica ozimná a jačmeň jarný boli plodinami, ktoré boli zastúpené vo všetkých troch osevných postupoch. V takmer štyroch dekádach trvania experimentu došlo k poklesu úrod, sprevádzaných so znižujúcou sa dočasnou stabilitou (S). Pomocou TLA analýzy sa na konci sledovaného obdobia zaznamenali záporné hodnoty. Poukazujú tak na nestabilitu a regres (mladšie štádia sukcesie) vo vývoji v úrodách osevných postupov. Najviac sa to prejavilo pri osevnom postupe s najvyšším 80% zastúpením obilnín.

Kľúčové slová: osevný postup, obilniny, agroekosystém, dlhodobý experiment

ÚVOD

Osevný postup je plánovité, agrotechnicky zdôvodnené striedanie plodín z hľadiska priestorového (na pozemkoch) a z hľadiska časového (jednotlivých rokoch). Je to teda zavedenie určitého systému striedania plodín v danom výrobnom území. Historickým základom vyváženého osevného postupu (od druhej polovice XVII. storočia) je Norfolkský osevný postup, v ktorom sa striedajú d'atelinoviny, ozimné obilniny, okopaniny hnojené organickými hnojivami a jarné obilniny (s podsevom d'atelinovín) /9/. Osevný postup, ako agroekosystém – systém, ktorý má jasne definované hranice z hľadiska biologických a fyzikálno-chemických vlastností, a kde diverzita pôvodného prírodného ekosystému je redukovaná na zoskupenie plodín, škodcova burín /3/ – má byť zosúladený s podmienkami stanovišťa. Človek rozpoznal výhody, ktoré rôzne druhy mu poskytujú aj poskytujú si navzájom: stromy a kry poskytujú tieň pre byliny, d'atelinoviny môžu poskytovať dusík,

v nadväznosti na živočíšnu výrobu aj maštal'ný hnoj. Pestrá paleta rastlín rôznych druhov môže odpudzovať škodce, a ak sa vyskytne prírodná pohroma – sucho, alebo privalové dažde – viac pestovaných rastlinných druhov predstavuje vyššiu pravdepodobnosť, že niečo prežije /3/. Pri predpokladanej klimatickej zmene (ktorú viac či menej zažívame) sa predikuje častejší výskyt sucha, vln horúčav či nadmerných, alebo dlhotrvajúcich zrážok. Z ekologickej perspektívy /8/ poukazuje na to, že môže dochádzať k zníženiu produkcie (a ďalších merateľných ukazovateľov) rôznych ekosystémov, ale aj k ohrozeniu/eliminácii kľúčových druhov. Tie majú za následok prebudovanie zložiek ekosystémov na všetkých úrovniach trofických štruktúr, ako aj vytvorením priestoru na potenciálne rozširovania sa invazívnych druhov. Uvedený efekt platí aj pre agroekosystémy, v ktorých cieľené agrotechnické zásahy môžu tieto negatívne prejavy počasia/klímy zmierňovať každoročnými adaptívnymi opatreniami. Avšak týmto heterogénnym spôsobom sa vytvoria podmienky, ktoré neumožňujú viacročné porovnanie. Preto neoceniteľnými informáciami sú stacionárne pokusy. Ale aj tu z dlhodobého hľadiska prirodzene dochádza k postupnému znižovaniu úrod obilnín /3/. V predloženom príspevku hodnotíme vývoj produkcie (najmä obilnín) z ekosystémového hľadiska dvoma spôsobmi: 1) dočasnou stabilitou (S) /7, 10/ a 2) sukcesiou – analýzou časového oneskorenia (TLA) /2, 4, 5/.

MATERIÁL A METÓDY

Dlhodobý stacionárny pokus VÚRV Piešťany bol založený na experimentálnej ploche v Borovciach, v nadmorskej výške 167 m, kde je priemer dlhodobých zrážok za rok 567 mm a s priemernou ročnou teplotou 9,7°C. Na pôdnom type degradovanej černozeme, vytvorenej na spraši (neutrálna pôdna reakcia, stredné množstvo humus, stredná zásoba rastlinám prístupného fosforu a draslíka) bol založený blokovou metódou v štyroch opakovaníach. V experimente boli zaradené tri oševné postupy, ktoré sa odlišovali percentuálnym zastúpením obilnín (poznámka: kukurica na zrno nebola považovaná za obilninu, ktorej agrotechnika bola realizovaná ako pre okopaniny). Tabuľka 1 zobrazuje predmetné oševné postupy.

Tab. 1: Oševný postup s podielom obilnín 40%, 60% a 80%

Poradie	40% obilnín	60% obilnín	80% obilnín
1	Hrach siaty	Hrach siaty	Hrach siaty
2	<i>Pšenica letná f. ozimná*</i>	<i>Pšenica letná f. ozimná</i>	<i>Pšenica letná f. ozimná</i>
3	Kukurica na siláž	<i>Jačmeň siaty ozimný</i>	<i>Jačmeň siaty ozimný</i>
4	<i>Jačmeň siaty jarný</i>	Kukurica na siláž	<i>Pšenica letná f. ozimná</i>
5	Kukurica siata na zrno	<i>Jačmeň siaty jarný</i>	<i>Jačmeň siaty jarný</i>

*ležato sú vyznačené obilniny

Príprava pôdy pred počas trvania experimentálneho obdobia (roky trvania 1974 až 2022; publikované sú výsledky pokrývajú obdobia medzi rokmi 1984 až 2022) bola vykonávaná bežnými agrotechnickými postupmi. Hnojenie bolo nasledovné: 5t.ha⁻¹ organického hnojiva Veget + minerálne fosforečné a draselné hnojivá pomocou bilančnej metódy a hnojenie N bolo vykonávané na základe koncentrácie anorganického N v pôde /1/.

Z uvedeného časového obdobia sme zostavili tri dekády (1. 1984-1993, 2. 1994-2003 a 3. 2004-2013) a jednu deväťročnú časovú os (2014-2022) na základe ktorých sme vypočítali dočasnú stabilitu [$S = \mu/\delta$, kde S je dočasná stabilita, μ – priemerná úroda v danom roku (zo štyroch opakovaní plodiny) a δ – štandardná odchýlka z rovnakých opakovaní] podľa /7, 10/. Analýza časového oneskorenia (time-lag analysis, TLA) je regresnou mierou dočasnej dynamiky spoločnstiev voči nepodobnosti, ktorá rastie s časom (porovnanie medzi jednoročnými odstupmi, dvoj-, troj- atď.) /2, 4/. Štandardizovaná je pomocou transformácie (druhá odmocnina – porovnávané časové obdobie i nepodobnosť). Výsledkom je sklon regresnej krivky, *b*, ktorá môže mať tri stavy: pozitívny – poukazuje na to, že populácia, spoločnstvo, ekosystém podstupuje sukcesiu; nulový – charakterizovaný stabilitou;

a negativny – populácia, spoločenstvo, ekosystém sa zažíva spätnú, regresnú sukcesiu, dosahuje vývojovo mladšie štádiá.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Všetky sledované plodiny a vo všetkých osevných postupoch sa s trvaním experimentu znižovali úrody /nepublikované údaje/. Pre pšenicu ozimnú hodnotia a vizualizujú tento trend /6/. Podľa /3/ prakticky všetky dlhodobé experimenty obilnín sa preukazujú klesajúcimi trendmi na úrodách.

Hrach siaty, pšenica letná f. ozimná a jačmeň jarný sú plodiny zaradené vo všetkých osevných postupoch. Tabuľky 2, 3 a 4 pre uvedené plodiny poukazujú na ich klesajúcu tendenciu úrod s postupným zvyšovaním podielu obilnín v osevnom postupe. Pri týchto troch plodinách, a z rovnakých tabuliek, vyplýva, že úrody s najvyššou stabilitou boli dosahované v osevnom postupe so 60% zastúpením obilnín. Trendy v jednotlivých dekádach nemali všeobecne platný charakter. Pšenica nasledujúca po hrachu sa prezentovala najvyššou úrovňou stability. Pritom jačmeň jarný mal v každom zo sledovaných osevných postupov inú predplodinu. Najvyššie úrody poskytoval po silážnej kukurici (40% obilnín) a jeho najvyššia stabilita bola zaznamenaná po kukurici na zrno (60% obilnín). Zaradenie jačmeňa siateho ozimného (osevné postupy 60% a 80% obilnín) poukazuje identickú stabilitu a mierne zníženie úrod hlavného produktu pri vyššom podiele obilnín v osevnom postupe.

Tab 2. Dočasná stabilita produkcie zrnín v osevnom postupe s 40% zastúpením obilnín

Roky	Hrach	Pšenica	Siláž kukurice	Jačmeň	Zrno kukurice
'84-'93	9,84	35,50		21,26	12,90
'94-'03	10,01	20,66		17,11	18,06
'04-'13	12,24	22,32		22,37	10,01
'14-'22	7,56	24,36		13,58	9,48
Priemer	9,98	25,74	15,19	18,71	12,69
Úrody	2,86	6,88	42,81	5,70	8,24

Tab 3. Dočasná stabilita produkcie zrnín v osevnom postupe s 60% zastúpením obilnín

Roky	Hrach	Pšenica	Jačmeň ozimný	Zrno kukurice	Jačmeň jarný
'84-'93	10,50	29,78	16,63	12,51	18,60
'94-'03	13,21	25,05	18,63	14,76	27,23
'04-'13	7,29	23,34	17,65	7,37	25,01
'14-'22	8,17	43,59	16,36	8,41	14,94
Priemer	9,84	30,10	17,37	10,82	21,61
Úroda	2,99	6,89	5,63	8,22	5,63

Priemerná stabilita osevných postupov bola najvyššia pri 60% zastúpení obilnín ($S = 17,95$). t -štatistikou sa nezaznamenali žiadne rozdiely osevnými postupmi (40% voči 60%: $t=0,53$, $P>0,63$; 40% voči 80%: $t=0,22$, $P>0,83$ a 60% voči 80%: $t=0,44$, $P>0,67$).

Tab 4. Dočasná stabilita produkcie zrnín v osevnom postupe s 80% zastúpením obilnín

Roky	Hrach	Pšenica	Jačmeň ozimný	Pšenica	Jačmeň jarný
'84-'93	6,65	18,06	17,85	20,94	18,40
'94-'03	9,07	20,14	19,87	16,49	16,15
'04-'13	7,78	33,41	16,83	14,79	12,97
'14-'22	9,54	20,18	14,56	26,02	13,22
Priemer	8,44	23,02	17,35	19,40	15,24
Úroda	2,63	6,64	5,45	5,95	5,20

Sklon regresných priamok jednotlivých osevných postupov, ako celku, a konkrétnych dekádach sú uvedené v tabuľke 5. Vo všeobecnosti sa sklony priamok pohybujú v rozsahu 0,02 až 0,25 /4/. Prvé tri dekády trvania experimentu boli sklony regresných priamok pod hranicou

0,02. Dosahujú tak stabilný a pozitívny vývoj v agroekosystémoch líšiacich sa percentuálnym podielom zastúpenia obilnín v oševnom postupe. V poslednom zo sledovaných období sa však sklon regresnej priamky dostane do záporných hodnôt. Pre odlišenie prirodzeného vývoja v rôznych spoločenstvách od antropogénnych vplyvov /5/ navrhujú kritérium $b=0,04$. Pod touto hranicou sú za zmeny v systémoch prirodzené. Hodnoty $b>0,04$ majú človekom výrazne ovplyvnené systémy.

Z uvedeného rezultujú nasledovné skutočnosti: oševné postupy a konštantná starostlivosť o ne, pre agroekosystém s jasnými biologickými a fyzikálno-chemickými vlastnosťami /3/, má stabilizujúci efekt v prvých troch dekádach. Postupným nárastom teplôt (preukazne) a pri rovnakom úhrne zrážok (nepreukazná zmena počas trvania pokusu) /6/ dochádza k značnej variabilite úrod plodín v poslednom sledovanom časovom období. Zaznamenané záporné hodnoty tak poukazujú na to, že agroekosystém vykazuje znaky spätnej sukcesie. Na základe práce /8/ tak môžeme dedukovať, že dochádza k ohrozeniu jednej zložky spoločenstva (napríklad hrach – produkcia v roku 2012 bola $0,043 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) – a táto zložka sú všetky sledované plodiny – a dochádza k jeho prebudovaniu. Možnosť prebudovania by mohla byť viditeľná aj na burinovom spektre, ktorého výrazné zmeny by mali byť v súlade s meniacim sa vývojom v priebehu poveternostných podmienok.

Tab 5. Sklon regresnej krivky, b , definujúci stupeň „sukcesie“ agroekosystému s rôznym zastúpením obilnín v oševnom postupe

	1984-1933	1994-2003	2004-2013	2014-2022
40% obilnín	0,0133	0,0056	0,0014	-0,0019
60% obilnín	0,0178	0,0025	0,0076	-0,0030
80% obilnín	0,0205	0,0181	0,0055	-0,0164

Na zabezpečenie stability úrod, ale aj zachovanie „sukcesnej“ stability je nevyhnutné v tomto pevne definovanom manažmente agroekosystému vytvoriť zásahy: (po určitom čase) zameniť pestovanú plodinu: hrach siaty za sóju, bôb, fazuľu, prípadne lucernu; kukuricu na siláž širokom; využiť priemyselné hnojivá s dlhšie trvajúcim uvoľňovaním živín; zaradiť a/alebo zvýšiť dávku organického hnojiva, prípadne maštalného hnoja, nahradenie jarných foriem ozimnými. Pretože ako uvádza /3/ prírodné spoločenstvá reprezentujú nenáhodné zoskupenia druhov, ktoré sú skôr kolekciami druhov, kde môžu navzájom koexistovať. Preto na meniace prostredie bude potrebné prispôbiť druhového zloženie agroekosystému a úpravu manažmentu. Uvedenými prístupmi by sa malo zabezpečiť zvýšenie b nad hodnotu 0,04 ako výraznejšiu antropogénnu činnosť, aby sa v ďalšom strednodobom až dlhodobom období zachovala v limite pod touto hranicou, ale stále v pozitívnom pásme /5/.

ZÁVERY

Rôzne systémy môžu byť relatívne krehké a stabilné v prostredí len ak sú udržiavané /3/. V procese meniacej sa klímy je potrebné vykonať manažérske (ale aj politické) rozhodnutia, ktoré zabezpečia použitie vhodných rastlín a postupov/prístupov stabilizujúcich produkciu rastlinnej výroby. Je to nevyhnutné, pretože oba spôsoby vyhodnocovania stability úroda a ich tendencie poukazujú na to, že s časom na danom mieste a s konštantnými prístupmi dochádza k ich poklesu.

LITERATÚRA

- /1/ Babulicová M., Gavurníková S. 2015. The influence of cereal share in crop rotations on the grain yield and quality of winter wheat. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)* vol. 61, No. 1, pp. 12-21. Doi: 10.1515/agri-2015-0006
- /2/ Collins S.L., Micheli F., Hartt L. 2000. A method to determine rates and patterns of variability in ecological communities. *Oikos*, vol. 91, No. 2, pp. 285-293

- /3/ Conway, G. 2007. A Doubly Green Revolution: ecology and food production. May R.M., McLean A., (eds). *Theoretical Ecology: Principles and application*. 3rd edition. Oxford University Press: Oxford. 158-177, reprinted in 2008. ISBN 978-0-19-920999-6
- /4/ Kampichler C., van Turnhout C.A.M., Devictor V., van der Jeugh H.P. 2012. Large-scale changes in community composition: determining land use and climate change signals. *PLoS ONE*, 7, doi. Org/10.1371/journal.pone.0035272
- /5/ Kampichler C., Angeler D.G., Homes R.T., Leito A., Svensson S., van der Jeugd H.P., Wesolowski t. 2014. Temporal dynamics of bird community composition: an analysis of baseline conditions from long-term data. *Oecologia*, vol. 175, No. 8, pp. 1301-1313
- /6/ Kizeková M., Malovcová E., Apacsová-Fúzková M., Britaňák N., Babulicová M. 2023. Vplyv počasia na úrodu pšenice ozimnej. Vplyv počasia na úrodu pšenice ozimnej. (*The effect of weather on grain field of winter wheat*). In. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2023 (*Influence of abiotic and biotic stresses on properties of plants 2023*). Hnilička, F. (eds). Zborník recenzovaných vedeckých prác, Česká zemědělská univerzita v Praze, Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied, Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV, s. 87-90. Vydal: Ústav ekologie lesa Slovenskej akadémie vied, v.v.i. 2023, ISBN: 978-80-89408-37-5
- /7/ Lehman C.L., Tilman D. 2000. Biodiversity, stability and productivity in competitive communities. *American Naturalist*, vol. 156, No. 5, pp. 534-552
- /8/ Smith M.D. 2011. An ecological perspective on extreme climatic events: a synthetic definition and framework to guide future research. *Journal of Ecology*, vol. 99, No. 3, pp. 656-663
- /9/ Pospíšil R., Líška E., Kováč K. 1999. *Osevné postupy*. Agroservis NOI: Nitra, 79 s. ISBN 80-85330-61X
- /10/ Tilman D., Reich, P.B., Knops J.M.H. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, vol. 441, No. 7093, pp. 629-632

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory programu EÚ Horizon 2020 European Joint Programme for SOIL (EJP-SOIL), (Grant Agreement No. 862695).

Sponzoři



Půda



Voda



Rostliny



Meteorologie



Sedimenty



Geotechnika

EkoTechnika



Ekotechnika spol. s r.o. byla založena v roce 1997.

Nabízíme vzorkovací a měřicí přístroje pro pedologii, geologii, hydrogeologii, hydrologii, meteorologii, geotechniku, výzkum rostlin a diagnostiku životního prostředí.

Našimi zákazníky jsou vědecké instituce, vysoké a střední školy, sanační společnosti, inženýrští geologové, hydrogeologové, státní instituce.

Dodávané přístroje jsou vyráběny předními světovými výrobci ADC Bioscientific Ltd., Delta-T Devices Ltd. a dalšími, které výhradně zastupujeme v ČR a SR.

Vyvíjíme také vlastní přístroje a měřicí zařízení.








www.ekotechnika.cz

Mgr. Tomáš Havel / havel@ekotechnika.cz / +420 602 243 447

MEDIÁLNÍ PARTNEŘI



Folia Oecologica publishes original research on forest ecology science. While the emphasis is on forest ecosystems, the journal covers a wide range of topics from the underlying biology to the conservation aspects of forest and nature. The Journal publishes full-text papers, short communications and review articles. *Folia Oecologica* is indexed in Scopus™, Web of Science and other databases. <https://ife.sk/research/edited-journals/fo-ecologica/>

Volume 49, Number 1, 2022

FOLIA OECOLOGICA

Arctic

```

graph LR
    subgraph Arctic
        direction LR
        A1[Initial parent material, underlayed by permafrost] -- "5-10 years" --> B1[O Cg]
        B1 -- "10-25 years" --> C1[O Ah CR Cg]
        C1 -- "30-40 years" --> D1[O Ah CR [H] Cg]
        
        A2[Initial parent material, Without permafrost] -- "5-10 years" --> B2[O Cox]
        B2 -- "10-25 years" --> C2[O Aao BF Cox]
        C2 -- "30-40 years" --> D2[O Aao (e) BFW Cg]
        
        D1 --> E[Zonal Soil]
        D2 --> E
    end
  
```

Abakumov, E.V., Koptseva, E.M., 2022. Ecogenesis and primary soil formation on the East European Plain. A review.


Institute of Forest Ecology
Slovak Academy of Sciences

sciendo

CZAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

PLANT, SOIL AND ENVIRONMENT



Prague

(On-line) ISSN 1805-9368
(Print) ISSN 1214-1178

CALL FOR PAPERS

Publish your article in

PLANT, SOIL AND ENVIRONMENT

TOPICS OF INTEREST

Soil Care, Conservation and Productivity	Agriculture and Environment Interactions from the Perspective of Sustainable Development	Experimental Biology, Agronomy, Natural Resources	
Growing of Crops and their Quality	Growth and Productivity	Seed Production	Plant Development

WHY PSE?

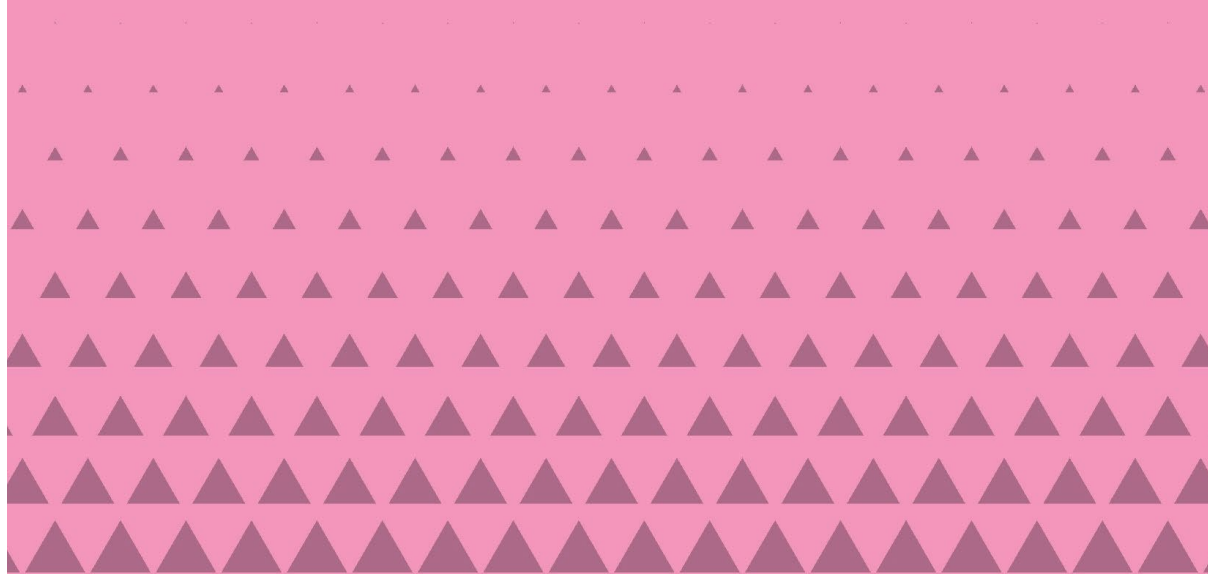
- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published monthly since 1955
- ▶ Web of Science (IF 2023: 2.3, 5-year IF: 2.2) Q1 - Agronomy
- ▶ SCOPUS (SJR 2023: 0.54) Q2 - Soil Science

Visit: <https://pse.agriculturejournals.cz/>
Contact: pse@cazv.cz

CAZS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES
100 years anniversary 1924-2024

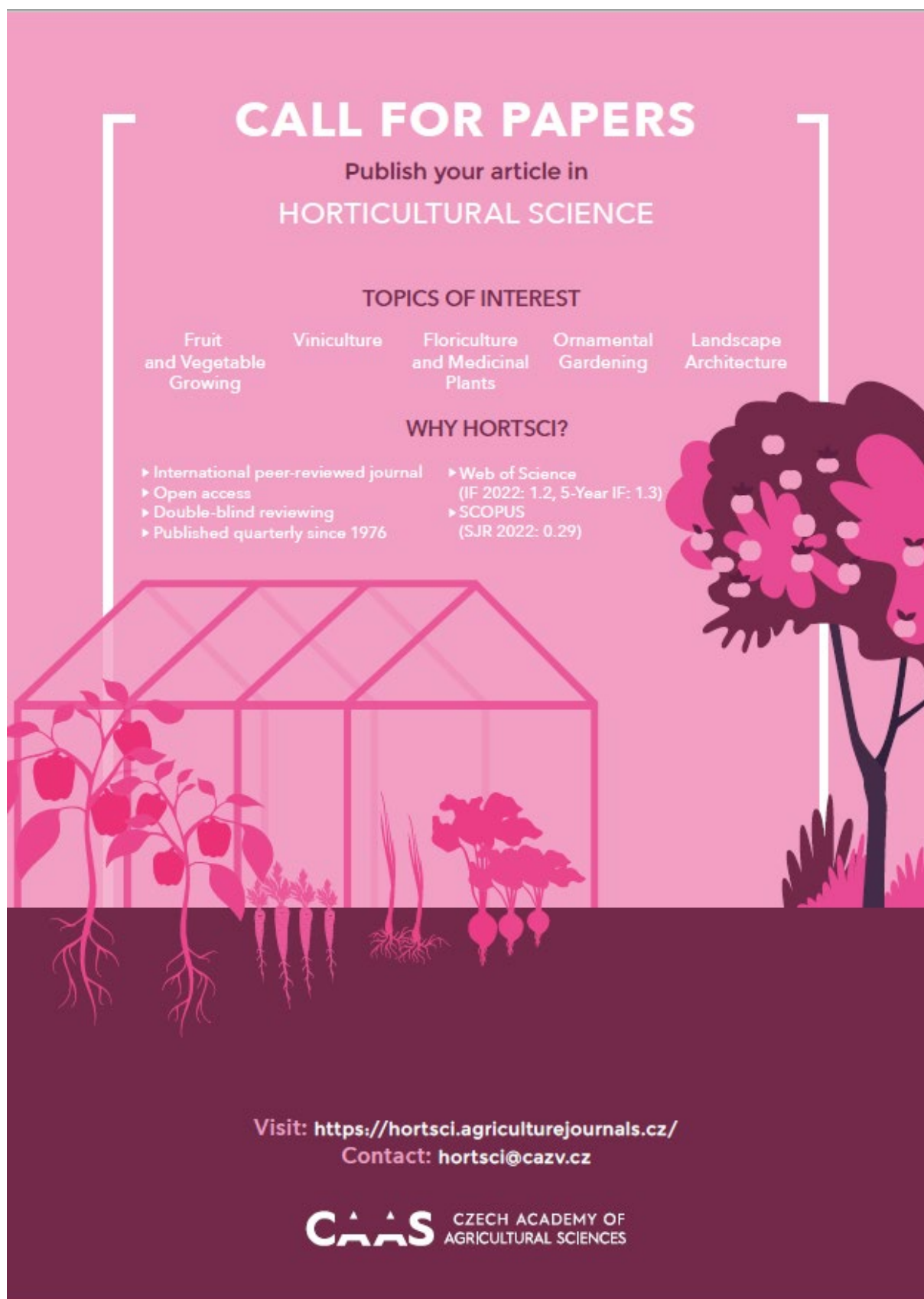
CAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

HORTICULTURAL SCIENCE



Prague

(On-line) ISSN 1805-9333
(Print) ISSN 0862-867X



CALL FOR PAPERS

Publish your article in
HORTICULTURAL SCIENCE

TOPICS OF INTEREST

Fruit and Vegetable Growing	Viniculture	Floriculture and Medicinal Plants	Ornamental Gardening	Landscape Architecture
-----------------------------------	-------------	---	-------------------------	---------------------------

WHY HORTSCI?

▶ International peer-reviewed journal	▶ Web of Science (IF 2022: 1.2, 5-Year IF: 1.3)
▶ Open access	▶ SCOPUS (SJR 2022: 0.29)
▶ Double-blind reviewing	
▶ Published quarterly since 1976	

Visit: <https://hortsci.agriculturejournals.cz/>
Contact: hortsci@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

CAAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

PLANT PROTECTION SCIENCE



Prague

(On-line) ISSN 1805-9341
(Print) ISSN 1212-2580

CALL FOR PAPERS

Publish your article in

PLANT PROTECTION SCIENCE

TOPICS OF INTEREST


Plant Protection	Infectious Diseases and Pests	Plant Pathology	Environmental Ecology	Weed Biology and Management
------------------	-------------------------------	-----------------	-----------------------	-----------------------------

WHY PPS?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published quarterly since 1921
- ▶ Web of Science (IF 2023: 1.7, 5-Year IF: 1.6)
- ▶ Q2 - Agronomy, Q2 - Plant Sciences
- ▶ SCOPUS (SJR 2022: 0.37)
- ▶ Q2 - Agronomy and Plant Sciences

Visit: <https://pps.agriculturejournals.cz/>
Contact: pps@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES
100-year anniversary 1924-2024



CZAS CZECH ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

CZECH JOURNAL OF GENETICS AND PLANT BREEDING

Journal of Genetics and Plant Breeding, Volume 47, No. 1, 2024



Prague

(On-line) ISSN 1805-9325
(Print) ISSN 1212-1975

CALL FOR PAPERS

Publish your article in

**CZECH JOURNAL OF GENETICS
AND PLANT BREEDING**

TOPICS OF INTEREST

Theoretical and Applied Plant Genetics Plant Biotechnology Plant Breeding

WHY CJGPB?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published quarterly since 1965
- ▶ Web of Science (IF 2023: 1.2, 5-year IF: 1.0) Q3 - Agronomy, Q3 - Plant Sciences
- ▶ SCOPUS (SJR 2023: 0.24) Q3 - Plant Science

Visit: <https://cjgpb.agriculturejournals.cz/>
Contact: cjgpb@cazv.cz

CAAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES
100 years anniversary 1924-2024



CALL FOR PAPERS
Publish your article in
JOURNAL OF FOREST SCIENCE

TOPICS OF INTEREST

Forest and Forest Ecology	Wood Processing	Genetics and Physiology of Forest Trees	Wildlife Management	Forest Economics
------------------------------	--------------------	---	------------------------	---------------------

WHY JFS?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published monthly since 1955
- ▶ Web of Science (IF 2023: 1.1)
- ▶ O3 - Forestry
- ▶ SCOPUS (SJR 2023: 0.31)
- ▶ O2 - Forestry

IMPACT FACTOR
Web of Science
1.1

Visit: <https://jfs.agriculturejournals.cz/>
Contact: jfs@cazv.cz

CAZS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES
100 years anniversary 1924-2024



CALL FOR PAPERS

Publish your article in

SOIL AND WATER RESEARCH

TOPICS OF INTEREST

Soil Science	Soil Hydrology	Soil Erosion Research and Control	Drought and Flood Control	Soil Contamination	Land Use
--------------	----------------	-----------------------------------	---------------------------	--------------------	----------

WHY SWR?

- ▶ International peer-reviewed journal
- ▶ Open access
- ▶ Double-blind reviewing
- ▶ Published quarterly since 2006
- ▶ Web of Science (JF 2023: 1.7, 5-year IF: 2.1)
- ▶ Q3 - Water Resources
- ▶ SCOPUS (SJR 2023: 0.5)
- ▶ Q2 - Aquatic Science, Q2 - Soil Science

Visit: <https://swr.agriculturejournals.cz/>
Contact: swr@cazv.cz

CAAS CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES
100 years anniversary 1924–2024

Název: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2024

Editor: František Hnilička

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

Česká zemědělská univerzita v Praze

Odborní recenzenti: Mgr. Jana Šlégrová

Tisk: online verze

Počet stran: 174

Vydání: první

Rok vydání: 2024

ISBN: 978-80-89408-38-2 Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v.v.i.

Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou