

# Vodorozpuštěné kořenné exsudáty rostlin: úloha a význam jejich studia

WATER-SOLUBLE PLANT ROOT EXUDATES: ROLE AND SIGNIFICANCE OF THEIR STUDY

Valerie Vranová, Klement Rejšek, Pavel Formánek – Mendelova univerzita v Brně

Suma všech látek deponovaných kořeny rostlin do půdy je nazývána „rhizodepozice“. Tu lze rozdělit podle různých kritérií. Často je suma látek v rámci rhizodepozice rozdělována podle způsobu uvolňování těchto látek do půdy. Jak uvádí GRAYSTON (1) a REJŠEK (2), rhizodepozice může být rozdělována na:

- vodorozpuštěné kořenné exsudáty uvolňované z kořenů rostlin pasivní difuzí,
- sekreci zahrnující vysokomolekulární látky,
- exkreci zahrnující  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{e}^-$ , ethylen atd.,
- lyzáty s obsahem odlupujících se kořenných buněk a celých kořenů,
- vysokomolekulární rostlinný sliz (v anglicky psané literatuře označovaný jako „mucilage“), který pokrývá kořeny rostlin a je složen z polysacharidů a polygalakturonových kyselin.

Jiným kritériem rozdělení rhizodepozice může být molekulární hmotnost uvolňovaných látek, chemické složení atd. (3, 4). Tyto látky mají bezprostřední vliv na složení mikrobiálních společenstev na povrchu kořenů a v rhizosféře (půda ve vzdálenosti 0–4 mm od kořene). Kořeny rostlin jsou do půdy uvolňovány různé látky a ionty, mezi něž patří  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , aminokyseliny a iminokyseliny, amidy, cukry, alifatické a aromatické kyseliny, volatilizovatelné aromatické látky, plyny jako je ethylen, vitamíny, peptidy, proteiny, enzymy, rostlinné hormony, alkoholy, ketony, olefiny, močovina a fytoalexiny (5–9).

## Vodorozpuštěné kořenné exsudáty

Nejvíce studovanou frakci v rámci rhizodepozice jsou vodorozpuštěné kořenné exsudáty. Dominantní složkou vodorozpuštěných kořenných exsudátů jsou cukry, organické kyseliny a aminokyseliny (8, 10), přičemž množství těchto látek obvykle klesá v pořadí cukry → organické kyseliny → aminokyseliny. Z cukrů byly ve vodorozpuštěných kořenných exsudátech rostlin nalezeny arabinosa, glukosa, fruktosa, galaktosa, maltosa, rafinosa, rhamnosa, ribosa, sacharosa a xylosa; z organických kyselin kyselina mravenčí, octová, máselná, propionová, jablečná, citronová, isocitronová, šťavelová, fumarová, malonová, jantarová, maleinová, vinná, oxalocetová, pyrohroznová, oxoglutarová, glykolová, šikimová, *cis*-akonitová, *trans*-akonitová, valerová a glukonová (7, 10). Následující aminokyseliny byly stanoveny ve vodorozpuštěné frakci kořenných exsudátů:  $\alpha$ - a  $\beta$ -alanin,  $\alpha$ -aminoadipová kyselina,  $\alpha$ - a  $\gamma$ -aminomáselná kyselina,  $\alpha$ -amino- $\gamma$ -hydroxypimelová kyselina, arginin, asparagin a glutamin, kyselina asparagová a glutamová, citrulin, cystathionin, cystein a cystin, kyselina cysteová a homocysteová, mugineová, deoxymugineová a 3-epihydroxymugineová kyselina, 3-pyrazolyl-alanin, kyselina

pipekolová, fosfoserin a fosfoethanolamin, glycin, methionin, methionin sulfoxid, homoserin, histidin, isoleucin, lysin, ornithin, fenylalanin, prolin, serin, threonin, tyrosin, valin a deriváty fenylalaninu a fenylglycinu (11). Dominantními cukry stanovenými v kořenných exsudátech různých rostlinných druhů jsou glukosa, fruktosa, arabinosa a sukrosa, dominantními organickými kyselinami jsou kyselina citronová, jablečná, vinná, jantarová a *trans*-akonitová, a dominantními aminokyselinami pak alanin, serin, arginin, kyselina asparagová a glutamová, glycin, prolin, cystin, lyzin a kyselina  $\gamma$ -aminomáselná (12). Množství těchto látek se mění v závislosti na druhu rostliny, kultivaru, věku, podmínkách prostředí (intenzita světla, teplota, živiny, půdní vlastnosti a mikrobiální aktivita), přítomnosti polutantů, aplikaci herbicidů, způsobu kolekce těchto látek během experimentů (13). Například, s věkem rostlin se celkově zvyšuje exsudace organických kyselin a snižuje exsudace cukrů a aminokyselin na jednotku hmotnosti kořenné biomasy (7, 10). Nicméně, starší rostliny uvolňují svými kořeny do půdy více vodorozpuštěných látek vztaženo na rostlinu z důvodu většího množství kořenné biomasy. Věk rostlin rovněž ovlivňuje podíl jednotlivých nízkomolekulárních látek ve vodorozpuštěných kořenných exsudátech. Například PAYNEL ET AL. (14) zjistili vysokou exsudaci glycinu z kořenů mladých rostlin jílku vytrvalého (*Lolium perenne*) a jetele plazivého (*Trifolium repens*), zatímco starší rostliny exsudovaly více serinu.

Cílem výzkumu vodorozpuštěných kořenných exsudátů je vedle základního stanovení intenzity kořenné exsudace a kvalitativního složení kořenných exsudátů rostlin (např. rostlin testovaných pro účely fytoemediací) determinace vstupu uhlíku a dusíku do půdy v této frakci rhizodepozice včetně stanovení vlivu kořenné exsudace na cyklus uhlíku a dusíku v půdě, metanogenezi, dále je to stanovení přítomnosti fyto-toxických látek, významu kořenných exsudátů ve zpřístupňování živin a přímé výživě rostlin, fytoemediacích včetně sorpce polutantů, v ochraně rostlin vůči toxickým koncentracím hliníku v rhizosféře, stanovení vlivu různých faktorů prostředí (defoliace, vlhkost půdy včetně vysušování a následného ovlhčení půdy, zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_3$ ) na kvalitu a kvantitu vodorozpuštěných kořenných exsudátů, stanovení jejich významu v kolonizaci rhizosféry mikroorganismy a formaci půdních agregátů, jejich vlivu na biochemické procesy (např. denitrifikace, fixace  $\text{N}_2$ ) v půdě, formaci mykorhizních symbióz a ochranu vůči patogenům, stanovení lokalizace a diurnálních změn kořenné exsudace či významu pro aktivity vybraných enzymů v půdě atd. (2, 11, 13, 15–19).

## Lokalizace kořenné exsudace

Exsudace různých organických látek není v rámci kořenných systémů rostlin rovnoměrná. Již starší literatura (20)

uvádí, že k exsudaci aminokyselin dochází v zóně kořenové elongace, zatímco cukry a organické kyseliny byly exsudovány z bazálních částí kořenového systému. JAEGER ET AL. (21) zjistil nejvyšší exsudaci tryptofanu 12–16 cm od špičky kořene *Avena barbata*, nicméně obecně se předpokládá, že ohniskem kořenové exsudace rostlin jsou špičky kořenů (13).

### Metody kolekce kořenových exsudátů

Pro účely kolekce vodorozpuštěných kořenových exsudátů jsou rostliny kultivovány v tekutém (různé typy živných roztoků) či pevném (písek, perlit, vermikulit nebo půda) médiu za sterilních či nesterilních podmínek (2), nebo mohou být získány přímo z terénu. Přítomnost mikroorganismů (kultivace a následná kolekce za nesterilních podmínek) ovlivňuje kořenovou exsudaci působením na membránovou permeabilitu, poškozením kořenových tkání, a nebo vlivem na ukládání organických látek v kořenech zejména z důvodu aktivity symbiotických mikroorganismů<sup>1</sup>. Vlastní kolekce vodorozpuštěných kořenových exsudátů probíhá vnořením kořenových systémů rostlin nebo jejich segmentů (důkladně omytých demineralizovanou vodou a případně roztokem soli) do roztoku 0,5–10 mM CaCl<sub>2</sub> nebo CaSO<sub>4</sub>, KCl, živného roztoku nebo demineralizované vody po různé dlouhou dobu (2 min. až 25 dnů) a při určité teplotě (2), přičemž za nesterilních podmínek během kolekce dochází k mikrobiální degradaci exsudovaných látek (22). Absence Ca<sup>2+</sup> v kolekčním médiu má za následek ireverzibilní poškození buněčných membrán, nadhodnocení kořenové exsudace a změnu kvalitativního složení kořenových exsudátů. V některých případech je aplikováno krátkodobé vnoření kořenového systému do demineralizované vody (tzv. „dipping method“), perkolace pevného kultivačního média s rostlinnými kořeny (křemenný písek) vodou nebo živným roztokem, nebo vnoření pevného kultivačního média s kořeny do vody s následným vyjmutím (tzv. „water-logging method“). Typ kolekčního média ovlivňuje množství exsudovaných látek a jejich kvalitativní složení (2). Kořenová exsudace je běžně měřena jako net exsudace, která představuje rozdíl mezi celkovou exsudací a následným aktivním příjmem těchto látek kořeny rostlin (13). Separace net efflux/influx je také testována a představuje trend současného výzkumu zejména s ohledem na exsudaci aminokyselin (11).

### Význam ve výživě rostlin a dekontaminaci znečištěných půd

Kořenové exsudáty mají význam ve zpřístupňování anorganicky a organicky vázaných živin v půdě. Jedná se zejména o zpřístupňování anorganicky a organicky vázaného fosforu, anorganicky vázaného draslíku, železa a nebo o přímou výživu okolních rostlin vylučovanými dusíkatými látkami (7, 14, 23). Rostliny produkují do půdy v rámci vodorozpuštěných kořenových exsudátů organické kyseliny, kterými mobilizují Al-, Fe- a Ca-vázané fosfáty. Jsou to zejména kyselina citronová a jablečná, které jsou exkretovány do půdy v případě deficiencie fosforu (24). Fosfor vázaný v půdní organické hmotě jsou rostliny schopny zpřístupňovat produkcí enzymu kyselé fosfomonoesterasy, který je z kořenů vylučován do půdy či sorbován na jejich povrchu (2). Rostliny jsou schopny mobilizovat draslík, který není výměnně sorbován na povrchu půdních koloidů, produkcí organických

kyselin (kyselina jablečná a vinná); rostlinami produkované fyto siderofory (např. kyselina mugineová a deoxymugineová) se uplatňují při mobilizaci anorganicky vázaného Fe. Jejich silné chelatační účinky a solubilizace Fe-vázaných fosfátů vede i ke zpřístupňování P v rhizosféře (7). Leguminózní rostliny (*Trifolium repens* L.) jsou schopny vylučováním aminokyselin obsažených ve vodorozpuštěných kořenových exsudátech poskytnout dusíkatou výživu okolním rostlinám (např. *Lolium perenne* L.). V odborné literatuře je tento jev označován jako tzv. „krátkodobý přenos dusíku“ (14). Takto vyloučené aminokyseliny mohou být přímo přijímány kořeny rostlin bez jejich předchozí mineralizace (25–28).

Zvyšující se koncentrace toxického hliníku v rhizosféře vedou ke stimulaci kořenové exsudace cukrů, organických kyselin a aminokyselin. Zejména organické kyseliny (citronová a jablečná) sekretované do půdy kořeny rostlin jsou schopny chelatovat toxický hliník (29). Chelatace hliníku organickými látkami, obsaženými ve vodorozpuštěných kořenových exsudátech, přispívá jak k redukci koncentrace volných Al iontů v prostředí kořenů, tak i k redukci jejich vazby na povrchu kořenových buněk či cytoplazmatické membrány.

Poznatky o kořenových exsudátech rostlin a jejich druhově-specifickém složení se využívají při dekontaminaci půd znečištěných organickými polutanty a těžkými kovy. Kořenová exsudace je příčinou zvýšené mikrobiální aktivity v rhizosféře včetně polutanty-degradujících mikroorganismů. Uhlík ve vodorozpuštěných kořenových exsudátech může být dobrým primárním substrátem pro kometabolickou degradaci organických polutantů. Obecně, rostliny používané pro účely fytoremediací svými kořenovými exsudáty zvyšují degradaci organických polutantů stimulací mikrobiální aktivity v půdě, zvyšujícím se počtem vazebných míst pro sorpci a případně vazbu polutantů v půdě z důvodů zvýšení celkové organické hmoty v půdě. Kořenovou exsudací látek zvyšují přístupnost (desorpci) kontaminant mikrobiální degradaci či rostlinnému příjmu (30). Mimo to, kořeny rostlin poskytují povrch pro formaci mikrobiálního biofilmu a mění půdní prostředí (např. oxidačně-redukční reakce, vlhkost, provzdušňenost atd.) ve prospěch zvýšení degradace polutantů (31, 32). Poznatky o vodorozpuštěných kořenových exsudátech různých druhů rostlin jsou rovněž využívány pro syntetickou přípravu těchto exsudátů a následně použití pro vytvoření umělé rhizosféry v různých typech experimentů. Ty zahrnují testování vlivu exsudátů na sorpci či desorpci polutantů, degradaci polutantů, růst polutanty-degradujících mikroorganismů nebo limitaci těchto mikroorganismů živinami, jako je dusík a fosfor (11).

### Význam extracelulární kyselý fosfomonoesterasy přítomné v kořenových exsudátech rostlin

Kyselá fosfomonoesterasa je důležitým enzymem koloběhu fosforu v terestrických ekosystémech. Tento enzym má značný agronomický význam z důvodu jeho účasti v hydrolyze sloučením organického fosforu, které transformuje do různých minerálních forem fosforu přímo asimilovatelných rostlinami. Aktivita extracelulární kyselý fosfomonoesterasy (E.C. 3.1.3.2) je běžně stanovována pro determinaci biologické aktivity půdy, vlivu polutantů na tuto aktivitu a také z důvodu indikace změn v kvantitě a kvalitě fosforylovaných substrátů přirozeně se vyskytujících v půdě (33, 34). Kyselá fosfomonoesterasa je důležitým enzymem pro bioremediace půd kontaminovaných organofosfáty a aktivita tohoto enzymu je často měřena z důvodu evaluace vlivu

různých zásahů (požáry, probírka lesních porostů a další typy managementu) na půdu. Tento enzym je vylučován do půdy jak půdními mikroorganismy, tak i mykorhizními či nemykorhizními kořeny rostlin (33). Extracelulární kyselá fosfomonoesterasa kořenového původu může být rozdělena na frakci vylučovanou do půdy v rámci vodorozpustných kořenových exsudátů a na frakci vázanou na povrchu kořenů. Podíl fosfomonoesterasy vylučované formou kořenových exsudátů je 1,5–10 % celkové kořenové fosfomonoesterasy různých druhů rostlin.

### Nové směry výzkumu

Novými směry výzkumu v oblasti vodorozpustných kořenových exsudátů rostlin jsou stanovení podílu enantiomerů organických látek (zejména aminokyselin a organických kyselin) a výskytu toxických látek, např. aminokyselin s fyto toxickými, insekticidními, nematocidními a antimikrobiálními účinky (35, 36). LIAO ET AL. (35) zjistili výskyt D-enantiomeru kyseliny vinné ve vysokém množství ve vodorozpustných kořenových exsudátech salátu (*Lactuca sativa*); výskyt dalších D-enantiomerů organických kyselin a aminokyselin včetně jejich významu ve zpřístupňování živin a fyto remediacích se předpokládá a představuje trend současného výzkumu v této oblasti. Dalším novým směrem ve výzkumu je stanovení významu kyselých fosfomonoesterasy vylučované kořeny rostlin do půdy a vázané na povrchu kořenů pro celkové zpřístupňování organicky vázaného fosforu v různých typech terestriálních ekosystémů. Zatímco v případě některých typů terestriálních ekosystémů se předpokládá důležitost mikrobiální kyselých fosfomonoesterasy pro zpřístupňování fosforu v půdě, půdách jiných typů ekosystémů je dominantní část aktivity kyselých fosfomonoesterasy připisována kořenům (33). V neposlední řadě je to pak stanovení vlivu typu rostlinného metabolismu (C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> a CAM) na kořenovou exsudaci různých organických látek včetně separace net efflux/influx pro různé rostlinné druhy. Kořenové exsudáty rostlin mají bezprostřední vliv na fixaci a produkci plynů půdou. Řada těchto plynů představuje signifikantní skleníkové plyny (např. CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>). Novým celosvětovým trendem výzkumu v této oblasti je šlechtění kultivarů zemědělských plodin jako je rýže (*Oryza sativa* L.) s nízkou produkcí kořenových exsudátů (zdroje pro produkci CH<sub>4</sub>) v různých fázích růstu v rámci programu snižování emisí skleníkových plynů.

Doposud používané metody kolekce vodorozpustných kořenových exsudátů rostlin jsou zatíženy nevýhodami, kterými může být umělé nadhodnocení kořenové exsudace vlivem nedostatku Ca<sup>2+</sup> v kolekčním médiu, nízký výtěžek kořenové exsudace, problémy se stanovením různých složek kořenových exsudátů z důvodu interference používaných analytických metod s ionty živných roztoků či z důvodu sorpce složek kořenových exsudátů v pevném kultivačním médiu (2). Trendem výzkumu je vývoj nových metod pro přesnější kolekci vodorozpustných kořenových exsudátů, použitelných pro kvalitativní a kvantitativní analýzu.

### Závěr

Výzkum vodorozpustných kořenových exsudátů rostlin je důležitý pro snižování emisí skleníkových plynů a řadu vědních oborů (ekologie, pedologie, mikrobiologie) včetně zemědělství, zahradnictví, lesnictví a fyto remediací ploch kontaminovaných

těžkými kovy a organickými polutanty. I přes řadu publikovaných poznatků (zejména vývoj nových metod kolekce vodorozpustných kořenových exsudátů, determinace enantiomerů organických toxických a netoxických látek vylučovaných z kořenů a jejich významu pro zemědělskou a lesnickou produkci, hledání nových rostlin pro účely fyto remediací a šlechtění zemědělských plodin za účelem snižování emisí skleníkových plynů přes kořenovou exsudaci) představují doposud málo probádanou oblast a jsou trendem současného výzkumu.

*Tato práce vznikla za podpory Výzkumného záměru LDF MENDELU č. MSM 6215648902 Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny (úkol č. 4/2/3) a projektu IGA LDF MENDELU č. 47, Rozšíření současných poznatků o biologicky přístupných aminokyselinách v půdě a jejich utilizaci půdními mikroorganismy či kořeny rostlin.*

### Souhrn

Vodorozpustné kořenové exsudáty tvoří významnou část celkové rhizodepozice, která je významná jak z hlediska výživy rostlin, tak z hlediska dekontaminace ploch znečištěných polutanty a fyto toxickými látkami, agregace půdy a formování mykorhizních symbióz. I přes řadu vědeckých prací v této oblasti doposud nebyly objasněny základní otázky výskytu a úlohy enantiomerů aminokyselin, přičemž výzkum těchto látek představuje významný trend současného bádání. Předložený článek se tak stává součástí tohoto diskutovaného tématu úlohy enantiomerů aminokyselin, organických kyselin a fyto toxických látek ve vodorozpustné frakci kořenových exsudátů různých rostlinných druhů a jako takový tvoří součást biochemických aplikací pro ekologii, zemědělství a moderní lesnictví. Článek dokládá, že důležitým směrem moderního výzkumu je šlechtění zemědělských plodin za účelem snížení výstupů kořenových exsudátů do půdy, které jsou významným zdrojem pro produkci skleníkových plynů jako je CH<sub>4</sub>.

**Klíčová slova:** kořenové exsudáty, kolekční médium, rostliny, fyto remediacie, výživa, aminokyseliny, skleníkové plyny.

### Literatura

- GRAYSTON, S. J.; VAUGHAN, D.; JONES, D.: Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Appl. Soil Ecol.*, 5, 1996 (1), s. 29–56.
- REJŠEK, K. ET AL.: Methods of collection of plant root exudates linked to plant metabolism and purpose of their use: a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, odesláno do redakce.
- ROVIRA, A. D.: Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect. *Plant Soil*, 7, 1956 (2), s. 178–194.
- ROVIRA, A. D.: Plant root exudates. *The Botanical Rev.*, 35, 1969 (1), s. 35–57.
- LAMBERS, H. ET AL.: The pattern of carboxylate exudation in *Banksia grandis* (Proteaceae) is affected by the form of phosphate added to the soil. *Plant Soil*, 238, 2002 (1), s. 111–122.
- FORMÁNEK, P.; AMBUS, P.: Assessing the use of deltha <sup>13</sup>C natural abundance in separation of root and microbial respiration in a Danish beech (*Fagus sylvatica* L.) forest. *Rapid Commun. Mass Sp.*, 18, 2004 (8), s. 897–902.
- PINTON, R.; VARANINI, Z.; NANNIPIERI, P. (eds.): *The rhizosphere: Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface*. Taylor-Francis Group, Boca Raton, 2007.
- FORMÁNEK, P. ET AL.: Amino acids in root exudates of *Miscanthus* × *Giganteus*. *Amino Acids*, 37, 2009 (Supplement 1), 49.
- TÉCHER, D. ET AL.: Contribution of *Miscanthus* × *giganteus* root exudates to the biostimulation of PAH degradation: An *in vitro* study. *Sci. Total Environ.*, 409, 2011 (20), s. 4489–4495.

10. AULAKH, M. S. ET AL.: Characterization of root exudates at different growth stages of ten rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Plant Biol.*, 3, 2001 (2), s. 139–148.
11. REJŠEK, K.; FORMÁNEK, P.; VRANOVÁ, V.: *The Soil Amino Acids: Quality, Distribution and Site Ecology*. 1. vyd., New York: Nova Science Publishers, Inc., 2010.
12. VRANOVÁ V. ET AL.: Dominant amino acids, organic acids and sugars in water-soluble root exudates of C4 plants: a mini-review. *Acta Univ. Agric. et Silv. Mendel. Brun.*, 58, 2010 (5), s. 441–446.
13. REJŠEK K., FORMÁNEK P., VRANOVÁ V.: Amino acids in the rhizosphere: a review. In DEVANE, R. T.: *New Plant Physiology Research.*, 1. vyd., New York: Nova Science Publishers, 2009, s. 111–133.
14. PAYNEL, F.; MURRAY, J.; CLIQUET, J. B.: Root exudates: A pathway for short-term N transfer from clover and ryegrass. *Plant Soil*, 229, 2001 (2), s. 235–243.
15. HODGE, A. ET AL.: Effects of photon flux density on carbon partitioning and rhizosphere carbon flow of *Lolium perenne*. *J. Exp. Botany*, 48, 1997 (315), s. 1797–1805.
16. HODGE, A.; MILLARD, P.: Effect of elevated CO<sub>2</sub> on carbon partitioning and exudate release from *Plantago lanceolata* seedlings. *Physiol. Plantarum*, 103, 1998 (2), s. 280–286.
17. VRANOVÁ, V. ET AL.: Selected kinetic parameters of soil microbial respiration in the A horizon of differently managed mountain forests and meadows of Moravian-Silesian Beskids Mts. *Euroasian Soil. Sci.*, 42, 2009 (3), s. 318–325.
18. PEARSE, S. J. ET AL.: Carboxylates in the rhizosphere of canola, wheat, lupins and pulses: Their role in P acquisition from sparingly soluble forms. *S. Afr. J. Bot.*, 75, 2009 (2), s. 415.
19. ABDOLZADEH, A. ET AL.: Effects of phosphorus supply on growth, phosphate concentration and cluster-root formation in three Lupinus species. *Ann Bot.*, 105, 2010 (3), s. 365–374.
20. MACURA, J.; VANČURA, V. (eds.): *Plant microbes relationships*. Academia, Praha, 1965.
21. JAEGER, C. H. ET AL.: Mapping of sugar and amino acid availability in soil around roots with bacterial sensors of sucrose and tryptophan. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 1999 (6), s. 2685–2690.
22. FORMÁNEK, P.; KLEJDUS, B.; VRANOVÁ, V.: The effect of extractant on degradation of L-glutamate and L-arginine in course of shaking and filtration at low temperature. *Amino Acids*, 32, 2007 (4), s. 489–491.
23. HAASE, S. ET AL.: Elevation of atmospheric CO<sub>2</sub> and N-nutritional status modify nodulation, nodule-carbon supply, and root exudation of *Phaseolus vulgaris* L. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 2007 (9), s. 2208–2221.
24. JONES, D. L.: Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant Soil*, 205, 1998 (1), s. 25–44.
25. REJŠEK, K.; FORMÁNEK, P.; PAVELKA, M.: Estimation of protease activity in soils at low temperatures by casein amendment and with substitution of buffer by demineralized water Estimation of protease activity in soils at low temperatures by casein amendment and with substitution of buffer by demineralized water. *Amino Acids*, 35, 2008 (2), s. 411–417.
26. FORMÁNEK, P.; KLEJDUS, B.; VRANOVÁ, V.: Bio-available amino acids extraction from soil by demineralized water and 0.5M ammonium acetate. *Amino Acids*, 28, 2005 (4), s. 427–429.
27. FORMÁNEK, P. ET AL.: Bio-available amino acids and mineral nitrogen forms in soil of moderately mown and abandoned mountain meadows. *Amino Acids*, 34, 2008 (2), s. 301–306.
28. VRANOVÁ, V.; FORMÁNEK, P.; REJŠEK, K.: Biologicky přístupné aminokyseliny v půdě a význam jejich studia. *Chemické listy*, 105, 2011 (9), s. 661–666.
29. YANG, L-T. ET AL.: Mechanisms of aluminum-tolerance in two species of citrus: Secretion of organic acid anions and immobilization of aluminum by phosphorus in roots. *Plant Sci.*, 180, 2011 (3), s. 521–530.
30. MOHAN, S. V. ET AL.: Bioremediation technologies for treatment of PAH-contaminated soil and strategies to enhance process efficiency. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 5, 2006 (4), s. 347–374.
31. PEARCE, D.; BAZIN, M. J.; LYNCH, J. M.: The rhizosphere as a biofilm. In LAPPIN-SCOTT, H. M.; COSTERTON, J. W. (eds.): *Microbial Biofilms*. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1995, s. 207–220.
32. ANDERSON, T. A.; GUTHRIE, E. A.; WALTON, B. T.: Bioremediation in the rhizosphere. *Environ. Sci. Technol.*, 27, 1993 (13), s. 2630–2636.
33. REJŠEK, K. ET AL.: Acid phosphomonoesterase (E.C. 3.1.3.2) location in soil. *J. Plant Nutri. Soil Sci.*, 175, 2012 (2), s. 196–211.
34. LIAO, Y. C. ET AL.: Effect of transpiration on Pb uptake by lettuce and on water soluble low molecular weight organic acids in rhizosphere. *Chemosphere*, 65, 2006 (2), s. 343–351.
35. VRANOVÁ, V. ET AL.: Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. *Plant Soil*, 342, 2011 (1–2), s. 31–48.
36. FERGUSON, J. J.; MENGE, J. A.: The influence of light intensity and artificially extended photoperiod upon infection and sporulation of *Glomus fasciculatus* on sudan grass and on root exudation of sudan grass. *New Phytol.*, 92, 1982 (2), s. 183–191.

### Vranová V, Rejšek K, Formánek P.: Water-Soluble Plant Root Exudates: Role and Significance of their Study

Water-soluble plant root exudates represent a considerable fraction of total rhizodeposition and are of significance for plant nutrition, methanogenesis, decontamination of polluted sites or phytotoxicity, soil aggregation and development of mycorrhizal symbiosis. The paper constitutes a part of current research focused on new data related to the role of enantiomers of organic compounds (amino acids and organic acids) and phytotoxicals within water-soluble root exudates of different plant species. Knowledge of the kind is applicable in ecology, agriculture and forestry, and in phytoremediation aimed at decontamination of polluted sites. Breeding techniques of plants used for agricultural production in terms of lowering exudation rate from roots, which is a significant source for greenhouses emissions (e.g. CH<sub>4</sub>), are discussed in the article.

**Key words:** root exudates, collection medium, plants, phytoremediation, nutrition, amino acids, greenhouse gasses.

### Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Valerie Vranová, Ph. D., Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav geologie a pedologie, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: vranova@mendelu.cz

ROZHLEDY

Tatter N.

### Stévie miluje teplo a vodu (*Stevia liebt Wärme und Wasser*)

Na začátku prosince 2011 byl schválen steviosid v EU jako potravinářská přídatná látka. Nyní můžeme sladit nejen s listy, ale zcela oficiálně s extrahovaným stevioglykosidem. Existuje okolo 200 různých steviových druhů. Nejznámější je *Stevia rebaudiana* Bertoni, kterou objevil v Paraguayi koncem 18. století švýcarský botanik Moisés Bertoni. Dnes se 75–80 % stevie komerčně pěstuje v Číně. Plodina potřebuje dostatek tepla a vody, optimální klimatické podmínky pro růst jsou stejné, jaké vyžaduje čajovník. Stevii se může dařit i ve střední Evropě, v lokalitách bez mrazu. Steviosidy tvoří asi 10 % listové hmoty. Dají se extrahovat horkou vodou a v dalším procesu vykrytalizovat. Používají se zejména ke slazení nápojů. Průkopníkem bylo v sedmdesátých letech Japonsko.

*Zuckerrübe*, 61, 2012, č. 1, s. 15.

Švachula