

Rozvinúť infraštruktúru a nástroje ako odpoveď na potreby subjektov riadenia vzhľadom na stratu biodiverzity a jej dôsledkov.

- **Skúmanie obzorov**

Identifikovať objavujúce sa výzvy vo výskume biodiverzity a ekosystémov.

* * *

Predpokladom úspešného riešenia vyššie uvedeníh úloh je vytvorenie kvalitne vybaveného centra pre GIS a DPZ. Vybudované centrum bude slúžiť širokému spektru vedeckej komunity zaoberajúcej sa biodiverzitou a službami ekosystémov, pričom využitím novonadobudutej počítačovej techniky a softvérového vybavenia budú zavedené inovatívne prístupy a metódy ako pri získavaní, tak aj pri interpretácii dát o krajine a biodiverzite (napr. vysokošpecializovaná rekognoskácia leteckých snímok Zeme, presná identifikácia jednotlivých prvkov v krajine, dynamické sledovanie zmien v krajine a tvorba scenárov predpokladaného vývoja zmien krajiny a biodiverzity).

Výstupom aktivity *Vybudovanie centra pre geografické informačné systémy a diaľkový prieskum Zeme* budú nové poznatky o krajine a biodiverzite, zavedené nové metodické prístupy a v neposlednom rade integrácia pracovísk ako

aj zvýšenie kvality zúčastnených pracovísk v rámci európskeho výskumného priestoru. Získané poznatky sa budú uplatňovať vo vzdelávaní študentov na všetkých stupňoch vysokoškolského štúdia, vrátane doktorandského.

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu ITMS 26240120014 Centrum excelentnosti pre ochranu a využívanie krajiny a biodiverzitu na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., van den Belt, M.: The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital Nature. International Weekly Journal of Science, 1997, 387, p. 253 – 260.

Šúri, M.: Diaľkový prieskum Zeme – teóriu k praktickým aplikáciám. Geoinfo, 1995, 2, s. 1 – 2.

Watt, A.: ALTER-Net Common Research Strategy. Report ALTER-Net 3.II.D2, 2009, 12 p.

RNDr. Róbert Kanka, PhD., Ústav krajinnej ekológie SAV, Štefánikova 3, P. O. Box 254, 814 99 Bratislava
robert.kanka@savba.sk

Rastliny, environmentálny stres, spôsoby adaptácie a tolerancia

D. Lišková: Plants, Environmental Stress, Ways of Adaptation and Tolerance. Život. Prostr., Vol. 44, No. 6, p. 288 – 291, 2010.

Biodiversity is one of the most important aspects of the environment. It maintains the balance of the environment. But nowadays is this balance very often disrupted with many negative influences of human activities. In the first steps of revitalization or remediation of disrupted environment, plants with specific characteristics (tolerance and hyperaccumulation ability), play important roles. Therefore the knowledge of molecular, biochemical and physiological aspects of these plant abilities is inevitable. Through this plant potential it is possible to revive the environment with its biodiversity. Sustainable environment with the biodiversity of organisms can be considered as one of the most important aspects of the healthy life. Biodiversity is also one of the main activities of the *Center of Excellence for Protection and Use of Landscape and Biodiversity* of the Operational Programme Research and Development financed by the European Regional Development Fund. The list of suitable plants for phytoremediation with their characteristics, behaviour in contaminated milieu, and possible cultivation will be integrated to the databasis of workplaces of other partners resulting in complex information system aimed on studies of the biodiversity in the Center of Excellence.

Biodiverzita predstavuje rozmanitosť života v celej šírke jeho druhov. Zahŕňa diverzitu génov v rámci druhov, diverzitu druhov v rámci ekosystémov a diverzitu ekosystémov v rámci biosféry. Rastlinné a živočíšne druhy, ako aj celé ekosystémy sú zdrojom rôznych produktov užitočných pre ľudskú spoločnosť. Zmenou environmentálnych podmienok môže dôjsť k narušeniu rovnováhy prostredia a následkom toho k zníženiu počtu druhov rastúcich na určitom území. Preto sa v súčasnosti veľká pozornosť venuje skúmaniu vzťahov medzi organizmami a životným prostredím a ich vzájomnému prepojeniu. Je tiež hlavnou aktivitou projektu *Centra excelentnosti pre ochranu a využívanie krajiny a biodiverzitu* operačného programu Výskum a vývoj, financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Rastliny sa počas evolúcie adaptovali na rôzne pôdne a environmentálne podmienky v závislosti od ich genetickej výbavy, pričom ich genetický systém bol súčasne modifikovaný počas adaptácie (Pareek et al., 2010). Mnohé rastliny sú schopné rásť a úspešne sa reprodukovať iba v prípade, ak sú environmentálne zmeny veľmi malé. Iné rastliny sú flexibilné a rastú dobre aj pri značnom environmentálnom strese. Niektoré abiotické faktory, ako je sucho, salinita, extrémne teploty (veľmi vysoké, aj veľmi nízke), nízka alebo vysoká intenzita svetla, deficit alebo toxické hodnoty prvkov alebo iných živín, prítomnosť toxických kovov, podstatne vplyvajú na produkciu plodín, vitalitu rastlín, biodiverzitu ekosystémov a čistotu životného prostredia. V posledných desiatkach rokov sa preto venuje veľká pozornosť pochopeniu molekulárnej, biochemickej a fyziologickej podstaty tolerancie, či adaptácii rastlín voči environmentálnemu stresu.

Všeobecne možno stres rozdeliť na biotický a abiotický. Uvedené delenie však v minulosti prispelo k mnohým nepresnostiam, ktoré skomplikovali pochopenie fenoménu stresu (Pareek et al., 2010). Pri sledovaní spôsobu reakcie rastlín na vonkajšie podmienky je najdôležitejšie pochopiť, akým spôsobom rastlina monitoruje a identifikuje typ a intenzitu určitého stresu. Zistilo sa, že podmienky vyvolávajúce stres v prípade jedného druhu rastlín, nemusia byť stresujúce u iného druhu. To vyvoláva otázku, aké rozdiely v biochemických alebo fyziologických pochodoch spôsobujú rozdiely v odpovediach rôznych rastlín na určitý



Obr. 1. Peniažtek modrastý (*Nocca caerulea*), 30-dňový jedinec pestovaný v aeropónii, priemer listovej ružice je asi 10 cm. Foto: I. Zelko

Poznámka: V súčasnosti najskúmanejší hyperakumulátor toxických kovov. Vyskytuje sa na Slovensku a vyznačuje sa pozoruhodnou štruktúrou koreňa (Zelko et al., 2008).

stres. Vhodným príkladom komplexnosti problematiky stresu sú kovy.

Tolerancia, resp. senzitivita voči určitým koncentráciám kovov, môže byť vyvolaná množstvom interakcií na bunkovej a molekulárnej úrovni. Vyvinuli sa viaceré tolerantné druhy a populácie, ktoré dokážu na pôdach so zvýšeným obsahom kovov rásť a prosperovať. Adaptčný mechanizmus týchto rastlín môže byť súčasťou mechanizmov homeostázy a konštitatívnej tolerancie voči esenciálnym kovom, ktorými všetky rastliny disponujú. Rastliny majú celú škálu mechanizmov na úrovni bunky, ktoré môžu byť zapojené do detoxikácie a tolerancie toxických kovov.

Mechanizmy tolerancie a detoxikácie toxických kovov vznikli skôr prevenciou vzniku nadprahových alebo letálnych koncentrácií týchto kovov v bunke, než vytvorením proteínov rezistencie. O zvýšení antioxidantnej obrany tolerantných rastlín máme málo údajov, oveľa viac údajov existuje o zintenzívnení procesov zabezpečujúcich homeostázu a predchádzajúcich vzniku stresu.

Tolerancia rastlín voči toxickým kovom sa dá definovať ako schopnosť rastlín prežiť v pôde, ktorá

je nevhodná pre iné rastliny a je prejavom interakcie medzi genotypom a prostredím (Macnair et al., 2000), hoci tento pojem sa často používa aj na označenie zmien, ktoré sú súčasťou senzitívnej reakcie rastlín na toxické kovy. Rastliny sú schopné rásť na pôdach kontaminovaných viacerými toxickými kovmi vo zvýšenej koncentrácii. Tolerancia voči nim môže byť zabezpečená menej špecifickými mechanizmami, ktoré prispievajú k širokej rezistencii voči rôznym kovom – kotolerancia, alebo môžu zahŕňať sériu nezávislých mechanizmov, ktoré sú voči jednotlivým kovom špecifické – mnohonásobná tolerancia (Schat et al., 2000). Keďže dôkazov o kotolerancii je málo, je pravdepodobné, že pre každý kov existuje špecifický mechanizmus (Macnair et al., 2000; Schat et al., 2000).

Stratégie tolerancie z hľadiska predchádzania vzniku stresu sú rôzne: na extracelulárnej úrovni zahŕňajú mykorízy, bunkovú stenu a extracelulárne exudáty; na úrovni plazmatickej membrány je to redukcia príjmu a stimulácia efluxu toxických kovov; na úrovni protoplastu existuje množstvo potenciálnych mechanizmov, napr. reparácia stresom poškodených proteínov zahŕňajúca HSP (*heat shock proteins*) alebo metalotioneíny; chelatácia kovov organickými kyselinami, aminokyselinami a peptidmi; kompartmentácia mimo metabolické procesy (bunková stena, transport do vakuol). Stratégia rastlín v prostredí so zvýšeným obsahom kovov je rozdielna (obr. 1). Rastliny v rôznej miere prijímajú kovy z prostredia, ale koncentrácia kovov v jednotlivých častiach rastlín závisí ako od vnútorných (genetických), tak aj od vonkajších (environmentálnych) faktorov a je mimoriadne variabilná v rámci

rastlinných taxónov a aj v rámci jednotlivých kovov (Baker et al., 2000).

Baker (1981) predpokladá dve základné stratégie, ktorými rastliny znášajú vysokú koncentráciu kovov v ich životnom prostredí:

- exklúzia (blokovanie vstupu), pri ktorej je transport kovov obmedzený a je udržiavaná ich nízka, pomerne stála koncentrácia vo výhonku pri rôznej koncentrácii kovov v substráte;
- akumulácia, pri ktorej sa kov akumuluje v netoxikkej forme v nadzemných častiach rastliny pri nízkej aj vysokej koncentrácii v substráte.

Možnou alternatívou je aj odpoveď, pri ktorej obsah kovu v rastline zodpovedá jeho obsahu v substráte. V prípade rastlín prevažuje exklúzia kovov, akumulácia je všeobecne obmedzená na pôdy so zvýšeným obsahom kovov (Baker et al., 2000), napr. pôdy kalamínové, serpentínové a ultramafické.

Pojem hyperakumulátor prvýkrát použili Brooks et al. (1977) na definovanie rastlín s koncentráciou Ni v sušine vyššou ako $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$ (0,1 %). Nikel je mikroelement výživy a vo väčšine rastlín sa nachádza vo vegetatívnych orgánoch v koncentrácii 1 – $10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$ Jeho toxicita sa prejavuje pri koncentrácii vyššej ako 10 – $50\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$ (Marschner, 1995). Počiatočný prieskum ukázal, že iba veľmi málo rastlín má obsah Ni v rozpätí 300 – $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$ (Brooks et al., 1977), čo svedčilo o jasnom rozdieli medzi neakumulátormi a hyperakumulátormi s prahovou hodnotou $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$ ako vhodným kritériom pre hyperakumuláciu Ni. Avšak po analýze ďalšej kveteny na serpentínových pôdach a objavení druhov s obsahom Ni v rozpätí 300 – $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$ Reeves (1992) navrhol, že koncept hyperakumulácie

Tab. 1. Prehľad normálnych a prahových hodnôt obsahu vybraných prvkov hyperakumulovaných rastlinami

Prvok	Normálna hodnota [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$]	Prah akumulácie [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$]	Prah hyperakumulácie [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{s.h.}$]	Počet hyperakumulujúcich taxónov
Cd	0,1 – 3	20	100	5
Co	0,03 – 2	20	100	28
Cr	0,2 – 5	50	100	?
Cu	5 – 25	100	1 000	37
Mn	20 – 400	2 000	10 000	9
Ni	1 – 10	100	1 000	317
Pb	0,1 – 5	100	1 000	14
Se	0,05 – 1	10	1 000	20
Zn	20 – 400	2 000	10 000	11

Zdroj: Boyd, 2007

ako odlišnej formy správania sa kveteny na serpentinitoch by bol užitočnejší, ak by mohol byť vzťahovo prepojený s malou škálou dobre definovaných mechanizmov príjmu alebo s metabolickými procesmi. Keďže takýto mechanizmus nie je známy, bol hyperakumulátor niklu definovaný ako rastlina s koncentráciou Ni najmenej 1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.h. v akomkoľvek nadzemnom pletive v aspoň jednej vzorke rastúcej v prirodzenom prostredí (Reeves, 1992). Hodnoty normálneho obsahu a prahové hodnoty niektorých prvkov hyperakumulovaných rastlinami sú zhrnuté v tab. 1.

* * *

Zvýšená translokácia kovov z koreňov do listov, ktorá je charakteristická pre hyperakumulátory, vedie zvyčajne k vysokej koncentrácii kovu v xyléme a k vyššiemu pomeru koncentrácií medzi nadzemnými a podzemnými časťami rastlín ako 1 (Schat et al., 2000). Distribúcia toxických kovov v rastlinách rozhoduje o ich toxickom pôsobení. Je zodpovedná za rôzne odpovede a mechanizmy tolerancie rastlín voči pôsobiacemu stresu. Rastliny sú schopné toxické kovy akumulovať, ale ich distribúcia na jednotlivých organizačných úrovniach rastliny môže byť veľmi heterogénna (Seregin, Kozhevnikova, 2008). Distribúcia toxických kovov v rastlinných bunkách a pletivách varíruje v závislosti od koncentrácie kovu v substráte, dĺžky expozície a od fyzikálno-chemických vlastností iónov determinujúcich prechod cez fyziologické bariéry, v prvom rade cez plazmalému na bunkovej úrovni a cez koreňovú endodermu na úrovni pletiva. Apoplast je miestom najväčšej akumulácie Cd, Pb a Sr (Seregin, Kozhevnikova, 2008), pričom Ni sa akumuluje predovšetkým v bunkovom protoplaste (Kramer et al., 2000). Akumulácia subletálnych koncentrácií Cd a Pb v periférálnych koreňových pletivách vysvetľuje, prečo sú tieto pletivá postihnuté najviac (Seregin, Kozhevnikova, 2008).

Pôda, voda a vzduch kontaminované toxickými kovmi predstavujú vážny environmentálny problém, ktorý vplýva aj na zdravie človeka. Riešenie uvedeného problému vyžaduje rôzne technologické postupy, z ktorých tie, pri ktorých sa využívajú vlastnosti rastlín tolerantných a akumulujúcich určitý toxický kov, sa nazývajú fytoremediácie.

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu ITMS 26240120014 Centrum excelentnosti pre ochranu a využívanie krajiny a biodiverzitu na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Baker, A. J. M.: Accumulators and Excluders – Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3, 1981, p. 643 – 654.
- Baker, A. J. M., McGrath, S. P., Reeves, R. D., Smith, J. A. C.: Metal Hyperaccumulators Plants: A Review of the Ecology and Physiology of Biological Resource for Phytoremediation of Metal-polluted Soils. In: Terry, N., Banuelos, G. (eds.): *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Boca Raton : CRC Press LCC, 2000, p. 171 – 188.
- Boyd, R. S.: The Defense Hypothesis of Elemental Hyperaccumulation: Status, Challenges and New Directions. *Plant and Soil*, 293, 2007, p. 153 – 176.
- Brooks, R. R., Lee, J., Reeves, R. D., Jaffré, T.: Detection of Nickeliferous Rocks by Analysis of Herbarium Specimens of Indicator Plants. *Journal of Geochemical Exploration*, 7, 1977, p. 49 – 57.
- Kramer, U., Pickering, I. J., Prince, R. C., Raskin, I., Salt, D. E.: Subcellular Localization and Speciation of Nickel in Hyperaccumulator and Non-accumulator *Thlaspi* Species. *Plant Physiology*, 122, 2000, p. 1 343 – 1 353.
- Macnair, M. R., Tilstone, G. H., Smith, S. E.: The Genetics of Metal Tolerance and Accumulation in Higher Plants. In: Terry, N., Banuelos, G. (eds.): *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Boca Raton : CRC Press LCC, 2000, p. 235 – 250.
- Marschner, H.: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Edn. London : Academic Press, 1995, 270 p.
- Pareek, A., Sopory, S. K., Bohnert, H. J., Govindjee: Abiotic Stress Adaptation in Plants. In: Pareek, A., Sopory, S. K., Bohnert, H. J., Govindjee (eds.): *Physiological, Molecular and Genomic Foundation*. Dordrecht : Springer, 2010, 526 p.
- Reeves, R. D.: The Hyperaccumulation of Nickel by Serpentine Plants. In: Baker, A. J. M., Proctor, J., Reeves, R. D. (eds.): *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*, Proceedings of the First International Conference on Serpentine Ecology. Andover : Intercept Ltd., 1992, p. 253 – 277.
- Seregin, I. V., Kozhevnikova, A. D.: Roles of Root and Shoot Tissues in Transport and Accumulation of Cadmium, Lead, Nickel, and Strontium. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55, 2008, p. 1 – 22.
- Schat, H., Llugany, M., Bernard, R.: Metal-specific Patterns of Tolerance, Uptake, and Transport of Heavy Metals in Hyperaccumulating and Non-hyperaccumulating Metallophytes. In: Terry, N., Banuelos, G. (eds.): *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Boca Raton : CRC Press LCC, 2000, p. 171 – 188.
- Zelko, I., Lux, A., Czibula, K.: Difference in the Root Structure of Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* and Non-hyperaccumulator *Thlaspi arvense*. *International Journal of Environment and Pollution*, 33, 2008, p. 123 – 132.

RNDr. Desana Lišková, PhD.,

Chemický ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 38 Bratislava, Desana.Liskova@savba.sk