

HODNOTENIE ENZYMATICKEJ AKTIVITY PÔD KONTAMINOVANÝCH RIZIKOVÝMI PRVKAMI V ZAŤAŽENÝCH OBLASTIACH SLOVENSKA

DETERMINATION OF SOIL ENZYMATIC ACTIVITY BY RISK ELEMENTS IN ENVIRONMENTALLY LOADED AREAS IN SLOVAKIA

Lenka BOBUŠKÁ, Jozef KOŽEJ, Lenka DEMKOVÁ

Prešovská Univerzita v Prešove, Fakulta Humanitných a Prírodných Vied, Katedra Ekológie,
ul. 17. novembra č. 1, 081 16 Prešov, Slovensko, lenka.bobulska@unipo.sk

Abstract

Pollution of soil environments by toxic substances has become a serious problem. The development and industrialization predominantly focused on mining activities have brought significant environmental issues in Slovakia. In this paper we focused on determination of heavy metals (Hg, Cu, Zn, Pb), biological (activity of enzymes – urease, acid and alkaline phosphatase), chemical (soil reaction) and physical (soil moisture) properties. The research was carried out on two sites with environmental disturbances (post-industrial area and post-mining site) in the west part of Slovakia. Extremely high and above the limit value of Pb was determined at both sampling sites. Activity of soil urease showed higher affinity to the level of heavy metal contamination and was inhibited more compared to the activity of phosphatases. Microbial characteristics such as soil enzyme activity are good indicators of heavy metal contamination in soil ecosystems and could be useful tool for monitoring changes in various ecosystems.

Key words: *heavy metals, soil enzymes, soil parameters, environmental disturbances*

Úvod

Pôda ako hlavný činiteľ ovplyvňujúci chod a ráz krajiny je pod stálym vplyvom rôznych odpadových látok, ktoré ohrozujú celistvosť a kolobeh potravinového reťazca. Každá zložka tvoriaca pôdu nie je vyčleňovaná, ale tvorí celok v ktorom má každá časť svoju charakteristickú vlastnosť, ktorá je potrebná. Takéto zložky sú ovplyvňované biotickými a abiotickými činiteľmi vytvárajúce sa spontánne, teda bez zásahu akejkoľvek činnosti človeka (Yang et al. 2007). Najväčšie riziko tvoria práve zásahy človeka, ktorými môže natrvalo zmeniť pôvodný charakter pôdy a tým ohroziť aj potravinový reťazec. Kumulujúce sa látky bez ohľadu na to či pôsobia na pôdu, vodu, ovzdušie, alebo priamo na flóru a faunu sú rizikom pre všetky organizmy. Každá neprirodzená látka v životnom prostredí sa aj tak dostáva do pôdy, kde sa akumuluje. Produktom týchto zásadných zmien sú zmeny a mutácie charakteristických pochodov, ktoré danú pôdu vyčleňujú z celku. Organizmy nachádzajúce sa v pôde, alebo organizmy ktoré využívajú pôdu ako substrát reagujú na akúkoľvek zmenu, ktorá nastane. Takouto zmenou je aj kontaminácia a zaťaženie pôdy ťažkými kovmi, na ktoré existujú ukazovatele pôsobiacie ako indikátory zaťaženého prostredia (Brookes 1995, Angelovičová et al. 2015). Pri riešení otázky zaťaženia krajiny chemickými látkami a ich zlúčeninami, ktoré ohrozujú zdravie nie len človeka ale aj rastlín a živočíchov, sa považuje za najväčšie riziko nahromadenie a likvidácia odpadov z priemyselnej výroby. Kontaminácia životného prostredia je prevažne spôsobená ľudskou činnosťou

<https://dx.doi.org/10.21062/ujep/231.2019/a/1802-212X/SO/12/1/37>

Bobušká, L. – Kožej, J. – Demková, L. (2018): Hodnotenie vybraných biologických parametrov ako indikátor znečistenia pôdneho prostredia v zaťažovaných oblastiach Slovenska
Studia Oecologica, 12, No. 1, pp. 37–44, ISSN: 1802-212X

a preto sa téma kontaminácie začala v poslednej dobe riešiť a poukazovať na potrebu zníženia zaťaženia krajiny (Ďurňa a Khun 2002). Vyvinuli sa metódy a opatrenia, na základe ktorých dokážeme rizikové látky determinovať a odstrániť z prostredia. Medzi najviac kontaminované územia zaradujeme lokality a regióny, v ktorých sa nachádzajú alebo nachádzali podniky, ktoré s takýmito látkami priamo manipulovali, alebo dokonca ich vyrábali. Sú to rôzne chemické závody, ťažký priemysel, baníctvo, poľnohospodárstvo a iné odvetvia ľudskej činnosti (Kakar a Jeffery 2005). Ťažké kovy menia aj pôvodný charakter pôdy a tým ohrozujú potravinový reťazec (Gray et al. 2006). Vplyv ťažkých kovov nemusí byť okamžite viditeľný. Ich inkubačná doba, respektíve ich toxický vplyv na pôdu a na organizmy na postihnutom území môže trvať niekoľko dní, ale aj niekoľko rokov, kým sa ich vplyv prejaví (Lahučký et al. 2009). Znečistenie pôdy je tým rizikovejšie, že tieto vplyvy sa prejavujú v skrytosti a môžu trvať omnoho dlhšie ako pri iných typoch kontaminácie, či už ide o kontamináciu atmosféry. V pôdnom ekosystéme sa to prejavuje prevažne znížením rýchlosti pôdnych reakcií alebo až ich úplným zastavením. Tieto vplyvy sú napríklad viditeľné na rastlinách znížením ich produkcie, alebo až zánikom samotného organizmu (Gábriš 1987). Detoxikácia ťažkých kovov z pôdy na rozdiel od atmosféry a hydrosféry je oveľa komplikovanejšia a technicky náročnejšia a preto je veľmi dôležité venovať tejto problematike zvýšenú pozornosť (Ďurňa a Khun 2002, Franková et al. 2010).

Dôležitým indikátorom stavu pôdneho prostredia je biologická aktivita pôdy. Predovšetkým biologická zložka pôdy zahrňujúca korene rastlín, pôdne živočíchy a pôdne mikroorganizmy má pre pôdu a jej kvalitu zásadný význam. Pôdne mikroorganizmy sú najdôležitejšou a súčasne najpočetnejšou skupinou edafónu a plnia nezastupiteľnú funkciu v pôde (Pasternáková a Bobuľská 2016, Fazekášová a kol. 2011) a je potrebné sledovať tieto mikrobiálne parametre v pôde, pretože dokážu veľmi rýchlo reagovať na environmentálne stresy, ktoré vplývajú na kvalitu a zdravie pôdy (Demková a Bobuľská 2018, Bobuľská a kol. 2015). Dôležitosť pôdnych enzýmov akými je ureáza, kyslá a alkalická fosfatáza spočíva v transformácii rastlinných živín. Ureáza katalyzuje hydrolyzu močoviny na oxid uhličitý a amoniak, v závislosti od pôdnej reakcie a organického uhlíka (Gao a kol. 2010). Fosfatázy sú dôležité pri transformácii organického fosforu na anorganické formy prístupné pre rastliny (Cang a kol. 2008).

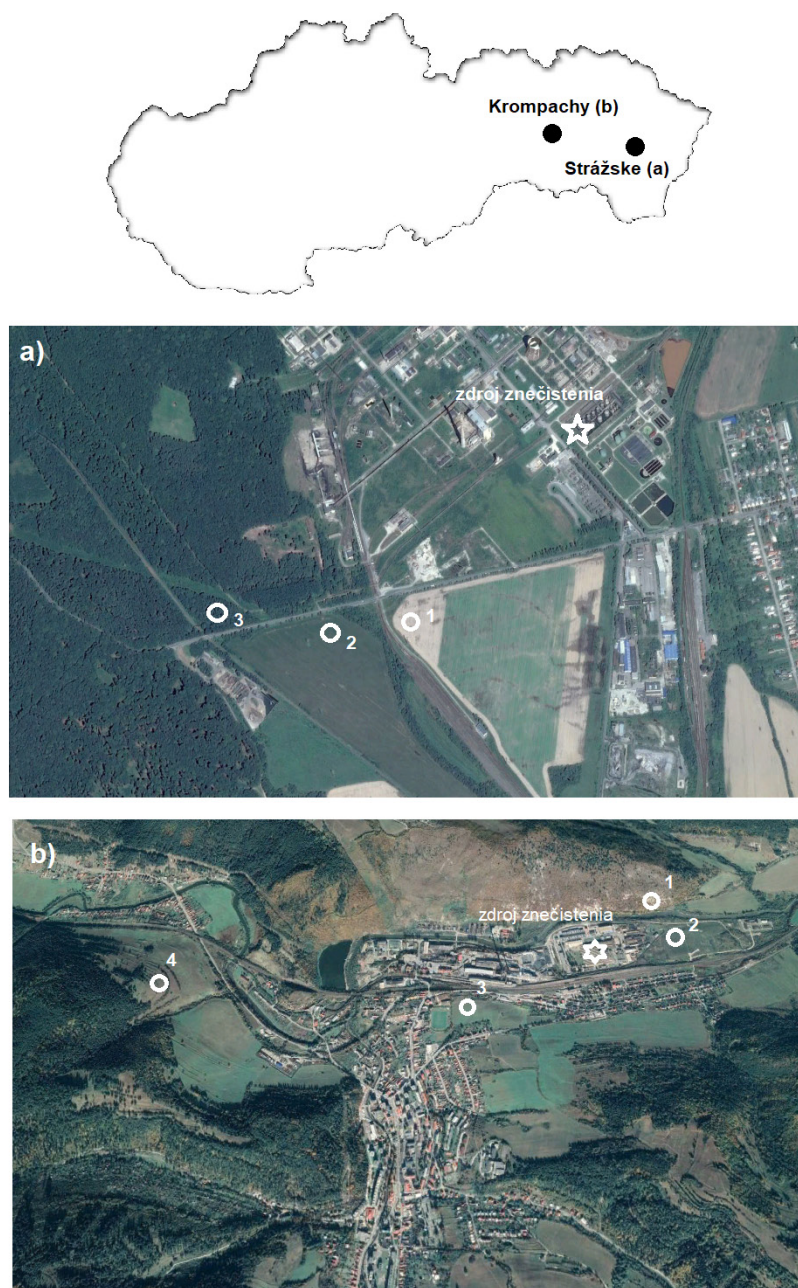
Cieľom práce je a) hodnotenie vybraných charakteristík mikrobiálnej aktivity (pôdnych enzýmov), ktoré sú považované za indikátory znečistenia prostredia a b) stanovenie obsahu a vplyvu ťažkých kovov na vybrané biologické indikátory pôdneho prostredia. Každá zaťažená oblasť tvorí riziko pre riadny chod krajiny. Výskum je zameraný na porovnanie lokalít, ktoré patria medzi najviac znečistené regióny Slovenskej republiky. Pre porovnanie boli vybrané dve lokality východného Slovenska (Strážske a Krompachy).

Materiál a metódy

Charakteristika lokalít

Výskum bol realizovaný v okolí priemyselného parku, ktorý sa nachádza na východnom Slovensku v katastri mesta Strážske [49°52'1067" S; 21°48'481" V] (Obr. 1). Lokalita je charakterizovaná teplou a veľmi suchou klímou s priemernou ročnou teplotou 9 °C (Január: -3,4 °C, Júl: 19,7 °C). Priemerný ročný úhrn zrážok je 666 mm. Typické pre túto lokalitu je prítomnosť ilimerizovaných pôd (hnedozeme a luvizeme), ktoré patria do skupiny stredne ťažkých hlinitých pôd. Chemický podnik patril od roku 1952 medzi dlhoročných výrobcov anorganických a organických látok na Slovensku. Medzi najhoršie a najtoxickéjšie látky, ktoré chemička vyprodukovala, patria polychlorované bifenyly (PCB látky). Druhou lokalitou výskumu je okolie mesta Krompachy. Lokalita leží v Košickom kraji [48°54'741" S; 20°52'420" V] (Obr. 1). Lokalita je charakterizovaná montánnou topografiou. Priemerná ročná teplota tejto oblasti je 6,8 °C (Január: -6,2 °C, Júl: 17,0 °C), čo patrí k mierne teplému a mierne vlhkému klimatickému regiónu. Úhrn zrážok sa pohybuje od 590 do 800 mm. Veľkosť celej lokality v Krompachoch je 586 m², kde plocha lesa zaberá viac ako 70% plochy. Typický pre danú lokalitu je pôdny druh kambizemí, ktoré sú prevažne plytké a stredne ťažké hlinité pôdy. Táto oblasť v okolí mesta Krompachy je známa baníckou a hutníckou činnosťou. V tejto lokalite sa ťažili nerastné suroviny, ktorých zložkou bola hlavne meď a ortuť. Pre tieto prvky je charakteristická povrchová

ťažba, čo malo za následok vznik veľkého množstva háld v okolí riek Slovinky a Poráča. Banícka činnosť sa v priebehu viacerých rokov pozastavila, neskôr úplne zastavila pre vyčerpanosť zdrojov. Nesprávnym umiestnením háld v okolí riek z týchto háld unikajú ťažké kovy do ekosystému. Najväčším problémom je mobilita vody, ktorá ich dokáže roznieť na vzdialenosť niekoľkých metrov až kilometrov. Banícka činnosť v tejto lokalite na ťažbu ortuti a medi je pozastavená a v súčasnosti je daná lokalita pod dohľadom, sledujú sa účinky týchto ťažkých kovov na ekosystém (Angelovičová et al. 2015).



Obr. 1: Lokalizácia odberu vzoriek na lokalite pri chemickom závode Strážske (ST) a Krompachy (KR) (Slovensko)

Odber pôdnych vzoriek a použité metódy

Odber pôdnych vzoriek sa uskutočnil v priebehu jedného roka (leto 2015) za účelom stanovenia fyzikálno-chemických a biologických parametrov. Celkovo bolo odobratých 21 pôdnych vzoriek (na každom odbernom mieste boli odobraté 3 vzorky) z hĺbky 0,15-0,20 m na ornej pôde, prípadne na okraji lesa (v prípade jedného odberného miesta lokality Strážske). Vzorky pôdy boli prenesené do laboratória v plastových vreckách a časť jednotlivých vzoriek sa nechala vysušiť na stanovenie chemických vlastností pôdy a pôdnej reakcie. Vzorky pôdy na stanovovanie pôdnej vlhkosti a enzy-

matickej aktivity boli spracované v čo najkratšom čase (do 1 týždňa). Pôdna reakcia v pôde bola stanovená v suchých vzorkách v pomere 1:3 (pôda: 0.01M CaCl₂) využitím laboratórneho pH metra inoLab pH 720-WTW (WTW GmbH, Wilhelm, Germany). Obsah pôdnej vlhkosti sa stanovila štandardnou gravimetrickou metódou po vysušení pôdy do konštantnej hmotnosti v sušičke pri teplote 105 °C po 24 hodinách. Obsahy ťažkých kovov (Hg, Cu, Zn, Pb) boli stanovené metódou atómovej adsorpčnej spektroskopie (AAS) prevádzanej v akreditovanom laboratóriu. Z biologických a mikrobiálnych parametrov pôdy boli sledované aktivita kyslej a zásaditej fosfatázy podľa Chazijeva modifikovanou metódou Grejtovského (1991) a aktivita pôdnej ureázy podľa Galstjana (Chazijev 1979). Na výpočet štatistických analýz bol použitý štatistický softvér Statistica 10. Korelačné závislosti medzi pôdnymi charakteristikami boli vypočítané podľa Spearmanovho korelačného koeficientu.

Výsledky a diskusia

Okrem priemyselných oblastí, znečistenie pôdneho prostredia na Slovensku v dôsledku ťažkých kovov je zapríčinené bankskými aktivitami, ktoré v minulosti zohrávali významnú úlohu. Takéto kontaminované pôdy nie sú v súčasnosti vhodné na produkciu poľnohospodárskych plodín a stupeň disturbance prostredia je pomerne vysoký. Tabuľka 1 uvádza priemerné hodnoty toxických látok (Hg, Cu, Zn, Pb) na jednotlivých lokalitách spolu s limitnými hodnotami pre pôdy na území Slovenska definovanými v zákone NR SR 220/2004 Z.z., ktorých presiahnuté hodnoty indikujú znečistenie pôdneho prostredia.

Tabuľka 1: Priemerné hodnoty ťažkých kovov stanovené na lokalitách ST a KR

Lokalita	Hg (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)
ST	0.08±0.01	0.11±0.02	0.50±0.06	208.57±35.0
KR	20.35±1.16	8.83±1.9	0.82±0.27	237.53±21.6
Limitná hodnota	0.5	60	150	70

Niektorí autori preukázali, že skládky bankského odpadu obsahujú kal z produkcie medi a zinku (Michaelli a Boltiziar 2010) a tuhý odpad, ktorý obsahuje vysoké rezíduá olova, arzenu a kadmia (Klinda a kol. 2005). V našej štúdiu sa potvrdila extrémne vysoká hodnota olova, ktorá niekoľkokrát prevyšovala limitnú hodnotu. Extrémne kyslé pôdy vytvárajú prostredie pre ľahký prechod ťažkých kovov cez pôdny systém (Lahučký et al. 2009). Podľa tohto tvrdenia môžeme konštatovať, že práve hodnota pH (Tabuľka 2) mohla ovplyvniť hodnotu ťažkých kovov v odobratých vzorkách. Na lokalite v okolí priemyselného parku Strážske je dlhodobý problém práve olovo. Druhá lokalita Krompachy je územím taktiež so zvýšeným množstvom olova, ale ďalším nebezpečným prvkom je toxická a ľahko prchavá ortuť, ktorá taktiež vysoko prevyšovala povolenú limitnú hodnotu. Množstvo týchto ťažkých kovov je zapríčinené metalurgiou a bankskou činnosťou, ktorá v tejto lokalite bola intenzívna. Od 70- rokov sa začali orgány štátnej správy tejto problematike intenzívne venovať a od roku 1992 to potvrdili aj uvedením zákona o ochrane prírody a krajiny, v ktorom vymedzili lokality z najväčším rizikom tvorby a akumulácie ťažkých kovov v ekosystéme (Linkeš et al. 1997). Hronec et al. (2008) zdôraznili, že kontaminácia prostredia vplyvom ťažkých kovov nemusí byť spôsobená iba antropogénnym vplyvom, ale taktiež geochemickým vplyvom mineralizovaných zón.

Pri porovnaní oboch lokalít priemyselného parku v Strážskom (ST) a lokality Krompachy (KR) sú priemerné hodnoty jednotlivých parametrov pôdy (vybrané fyzikálne a biochemické vlastnosti) uvedené v Tabuľke 2. Hodnoty pôdnej reakcie (pH) sa pohybovali od slabo kyslej (6.0) v priemyselnom parku Strážske až po neutrálnu (7.0) v lokalite Krompachy. Aktivita pôdnych enzýmov sa efektívne využíva za účelom stanovenia stupňa pôdneho znečistenia a hodnotenia zdravia a kvality pôdneho ekosystému (Bobuľská et al. 2015). Bolo niekoľkokrát preukázané, že vysoký stupeň kontaminácie prírodného prostredia sa negatívne prejavuje aj na aktivite pôdnych enzýmov (Wang et al. 2008). Aktivita pôdnych enzýmov bola na oboch hodnotených lokalitách nízka. V porovnaní enzymatickej aktivity s inými autormi (Angelovičová a kol. 2014), ktorí sa venovali štúdiu pôdnych enzýmov na haldách a odkaliskách bankských oblastí, boli nami zistené hodnoty ureázy a fosfatáz výrazne nižšie.

šie, predovšetkým hodnota pôdných fosfatáz na lokalite priemyselného parku Strážske vykazovala extrémne nízke hodnoty. Porovnaním oboch lokalít vyplýva, že aktivita pôdných enzýmov kyslej a zásaditej fosfatázy je výrazne nižšia v priemyselnom parku Strážske (ST) v porovnaní s lokalitou Krompachy (KR). V prípade aktivity pôdneho enzýmu ureázy je tento trend opačný. Niektoré štúdie uvádzajú, že fosfatázy sa vplyvom mierne zvýšeného obsahu ťažkých kovov v pôdnom prostredí výrazne nemenia (Yeates et al. 1994), ale až výrazne vysoký obsah týchto toxických prvkov má na ich aktivitu inhibičný účinok (Brookes 1995).

Tabuľka 2: Priemerné hodnoty pôdných vybraných parametrov na lokalitách ST a KR

Lokalita	pH (CaCl ₂)	Pôdna vlhkosť (%)	Ureáza (mg NH ₄ ⁺ -Ng ⁻¹ d ⁻¹)	Kyslá fosfatáza (mg P g ⁻¹ 3hod ⁻¹)	Alkalická fosfatáza (mg P g ⁻¹ 3hod ⁻¹)
ST	6.0±1.4	8.5±0.8	0.20±0.02	0.48±0.1	0.38±0.03
KR	7.0±0.9	8.1±1.4	0.12±0.04	16.28±1.2	13.01±0.8

Výsledky štatistického testovania nepotvrdili signifikantnú závislosť ($P < 0,05$) medzi pôdnou reakciou, pôdnou vlhkosťou a mikrobiálnymi ukazovateľmi. Signifikantná pozitívna závislosť bola potvrdená medzi pôdnymi fosfatázami, s čím súvisí to, že tieto enzýmy patria do rovnakej skupiny enzýmov a ich charakter sa mení v závislosti od pH prostredia (Tabuľka 3). Taktiež sa potvrdila závislosť medzi aktivitou pôdnej ureázy a aktivitou kyslej fosfatázy, čo taktiež potvrdzujú autori Angelovičová a kol. (2014).

Tabuľka 3: Korelačné závislosti medzi pôdnymi charakteristikami

	pH (CaCl ₂)	Pôdna vlhkosť	Ureáza	Kyslá fosfatáza	Alkalická fosfatáza
pH (CaCl ₂)	-	ns	ns	ns	ns
Pôdna vlhkosť	ns	-	ns	ns	ns
Ureáza	ns	ns	-	0,89*	ns
Kyslá fosfatáza	ns	ns	0,89*	-	0,95*
Alkalická fosfatáza	ns	ns	ns	0,95*	-

** Korelácia je signifikantná na hladine 0,01

* Korelácia je signifikantná na hladine 0,05

ns- nie je signifikantná

Ťažké kovy majú komplexný vplyv na enzymatickú aktivitu, pričom rozličné enzýmy reagujú na ťažké kovy rozdielnym spôsobom (Tabuľka 4). V prípade ureázy sme zaznamenali signifikantnú negatívnu koreláciu s celkovým obsahom ortuť (P<0,01) a naše výsledky v aktivite pôdnej ureázy sa zhodujú s výsledkami, ktoré vo svojej práci uviedli Angelovičová a Fazekašová (2014). Zároveň bola zistená signifikantná negatívna korelácia medzi kyslou fosfatázou a celkovým obsahom olova, čo sa zhoduje so zisteniami Dotaniya a Pipalde (2018), ktorí taktiež potvrdili negatívny vplyv tohto ťažkého kovu na aktivitu alkalické fosfatázy. Alkalická fosfatáza bola negatívne signifikantne závislá so všetkými sledovanými ťažkými kovmi. Gülser a Erdoğan (2008) sa vo svojej štúdiu zamerali na vplyv ťažkých kovov na aktivitu alkalické fosfatázy, pričom ich zistenia, rovnako ako v našom prípade, potvrdili závislosť aktivity tohto enzýmu na všetky hodnotené kovy. Súčasne s prácami mnohých autorov (Angelovičová a kol. 2014, Ciarkowska 2018, Meng et al. 2018, Wahsha et al. 2017), ktorí realizovali výskum na rôzne zaťažených lokalitách sme zaznamenali výrazný dopad ťažkých kovov na aktivitu pôdných enzýmov.

Výsledky nášho výskumu potvrdili, že znečistené pôdy ťažkými kovmi sú schopné inhibovať aktivitu mikrobiálneho spoločenstva prostredníctvom zníženej aktivity pôdných enzýmov. Vzhľadom k tomu, že mikroorganizmy spotrebujú množstvo energie pre adaptáciu sa na kontaminované prostredie, dochádza k poklesu nielen ich aktivity, ale taktiež aj abundancii pôdnej bioty (Ranella et al. 2005, Fazekašová a Bobuľská 2012). Kandler et al. (2000) vysvetlili vplyv toxických látok na aktivitu pôdných enzýmov tak, že kov reaguje so sulfhydrylovými skupinami enzýmov, ktoré spôsobujú inhibíciu alebo deaktiváciu enzymatickej aktivity.

Tabuľka 4: Korelačné závislosti medzi pôdnymi charakteristikami a celkovým obsahom ťažkých kovov

	Hg	Cu	Zn	Pb
pH (CaCl ₂)	-0,88*	ns	ns	-0,89*
Pôdna vlhkosť	ns	ns	ns	ns
Ureáza	-0,98**	ns	ns	ns
Kyslá fosfatáza	ns	ns	ns	-0,92*
Alkalická fosfatáza	-0,87*	-0,97**	-0,92*	-0,94*

** Korelácia je signifikantná na hladine 0,01

* Korelácia je signifikantná na hladine 0,05

ns- nie je signifikantná

Mnoho autorov využívajú aktivitu pôdných enzýmov ako bioindikačnú metódu stanovenia toxikologického vplyvu rôznych polutantov na kvalitu pôdneho ekosystému (Shen et al. 2005, Karaca et al. 2010). Yang et al. (2007) potvrdili, že inhibícia aktivity pôdných enzýmov bola spôsobená kontamináciou ťažkých kovov, čo následne viedlo k zníženej úrodnosti a kvalite pôdneho prostredia. Aktivita pôdnej ureázy bola na lokalite Krompachy výrazne nižšia v porovnaní s lokalitou priemyselného parku v Strážskom, čo potvrdzuje závislosť a vyššiu afinitu tohto enzýmu na zvýšený vplyv toxických látok, čo potvrdzuje aj práca autorov Angelovičová et al. (2015). Reakcia rôznych enzýmov na rovnaký kov môže byť variabilná a rovnaký enzým môže reagovať rozdielne na rôzne polutanty v prostredí (He et al. 2003). Qu et al. (2011) pozorovali najvyšší inhibičný efekt práve v aktivite pôdnej ureázy vplyvom ťažkých kovov v porovnaní s inými pôdnymi enzýmami, čo taktiež korešpondovalo s našimi výsledkami.

Záver

Znečistená pôda vplyvom toxických látok nie je schopná produkcie rastlinnej biomasy a správnom fungovaní pôdneho ekosystému. Aj keď väčšina ťažkých kovov sa vyskytuje prirodzene v prostredí, ľudské aktivity (priemysel, poľnohospodárske postupy, spaľovanie fosílnych palív, alebo banská činnosť) narúšajú ich prirodzenú rovnováhu v prostredí. V práci sú uvedené výsledky výskumu uskutočneného v oblastiach, ktoré sú zaťažené vplyvom ťažkých kovov. Vplyv takýchto toxických látok nepriaznivo pôsobí na funkčné vlastnosti pôd a tým priamo zasahuje do ich produkčného využitia. Namerané hodnoty ťažkých kovov preukázali vplyv na aktivitu pôdnej ureázy a fosfatáz, ktoré sa v jednotlivých lokalitách odlišovali. So zvyšujúcim sa obsahom ťažkých kovov sa znižovala aktivita vybraných pôdných enzýmov. Zaznamenali sme pozitívnu signifikantnú závislosť medzi pôdnymi fosfatázami a medzi ureázou a kyslou fosfatázou. Na oboch lokalitách sa hodnoty olova pohybovali vysoko nad limitnú hodnotu a na základe toho je potrebné konštatovať, že tieto lokality je potrebné monitorovať, zabrániť akejkoľvek ďalšej akumulácii látok a tým zaistiť zníženie rizikových faktorov ovplyvňujúcich ekosystém.

Podakovanie

Autori ďakujú agentúre VEGA č. 1/0326/18 a VEGA č.2/0013/16 za finančnú podporu pri riešení projektu, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

Použitá literatúra

ANGELOVIČOVÁ L., BOBUĽSKÁ L., FAZEKAŠOVÁ D. (2015) Toxicity of heavy metals to soil biological and chemical properties in conditions of environmentally polluted area Middle Spiš (Slovakia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Studies* 10(1): 193-201.

ANGELOVIČOVÁ L., BOBUĽSKÁ D., FAZEKAŠOVÁ D. (2014) Chemické a biologické vlastnosti pôdy ako indikátory znečistenia pôdneho prostredia vplyvom ťažkých kovov. *Folia Oecologica* 11: 11-19.

- ANGELOVIČOVÁ L., FAZEKAŠOVÁ D. (2014) Contamination of the soil and water environment by heavy metals in the former mining area of Rudňany (Slovakia). *Soil and Water Research* 9(1): 18-24.
- BOBUĽSKÁ L., FAZEKAŠOVÁ D., ANGELOVIČOVÁ L., KOTOROVÁ D. (2015) Impact of ecological and conventional farming systems on chemical and biological soil quality indices in a cold mountain climate. *Biological Agriculture and Horticulture* 31(3): 205-218.
- BROOKES P.C. (1995) The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils* 19: 269-279.
- CANG L., ZHOU D.M., WANG Q.Y., WU D.W. (2008) Effect of electrokinetic treatment of heavy metal contaminated soil on soil enzyme activities. *Journal of Hazardous Materials* 172: 1602-1607.
- CIARKOWSKA K. (2018) Assessment of heavy metal pollution risk and enzyme activity of meadow soils in urban area under tourist load: a case study from Zakopane (Poland). *Environmental Science and Pollution Research* 25(14): 13709-13718.
- DEM KOVÁ L., BOBUĽSKÁ L. (2018) Vplyv toxických látok na zdravie a kvalitu pôdy. *Biodiversity & Environment* 10(1): 14-21.
- DOTANIYA M.L., PIPALDE J.S. (2018) Soil enzymatic activities as influenced by lead and nickel concentration in a vertisol of Central India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 101(3): 380-385.
- ĎURTA O., KHUN M. (2002) Environmentálna geochemia niektorých ťažkých kovov. Univerzita Komenského, Bratislava, 115 s., ISBN 80-223-1657-1.
- FAZEKAŠOVÁ D., BOBUĽSKÁ L. (2012) Pôdne organizmy ako indikátor kvality a environmentálneho stresu v pôdnom ekosystéme. *Životné Prostredie* 46(2): 103-106.
- FAZEKAŠOVÁ D., MACKOVÁ D., BOBUĽSKÁ L. (2011) Biodiversity and environmental quality in the conditions of ecological farming on soil. *Növénytermelés* 60: 427-430.
- FRANKOVÁ J., KORDÍK J., SLANINKA I., JURKOVIČ L., GREIF V., ŠOTTNÍK P., DANANAJ I., MIKITA S., DERCOVÁ K., JÁNOVÁ V. (2010) Atlas sanačných metód environmentálnych záťaží. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 362 s., ISBN 978-80-89343-39-3.
- GAO Y., ZHOU P., MAO L., ZHI Y., SHI W. (2010) Assessment of effect of heavy metals combined pollution on soil enzyme activities and microbial community structure modified ecological dose-response model and PCR-RAPD. *Environmental Earth Science* 60(3): 603-612.
- GÁBRIŠ Ľ. (1987) Chemizácia poľnohospodárskej výroby a ochrana životného prostredia. Príroda, Bratislava, 231 s.
- GRAY C.V., DUNHMAN S.J., DENNIS P.G., ZHAO F.J., MCGRATH S.P. (2006) Field evaluation of in situ remediation of a heavy metal contaminated soil using lime and red-mud. *Environmental Pollution* 142(3): 530-539.
- GÜLSER F., ERDOĞAN E. (2008) The effect of heavy metal pollution on enzyme activities and basal soil respiration of roadside soils. *Environmental Monitoring and Assessment* 145(1-3): 127-133.
- GREJTOVSKÝ A. (1991) Vplyv zúrodňovacích opatrení na enzymatickú aktivitu ťažkej nivnej pôdy. *Rostlinná Výroba* 37: 289-295.
- HE Z.I., XU Z.H., HUGHES J. (2003) Analyses of soil fungal communities in adjacent natural forest and hoop pine plantation ecosystems as revealed by molecular approaches based on 18S rRNA genes. *FEMS Microbiology Letters* 247(1): 91-100.
- HRONEC O., VILČEK J., TÓTH T., ANDREJOVSKÝ P., et al. (2008) Heavy metals in soils and plants of contaminated area Rudňany-Gelnica. *Acta Regionalia et Environmentalica* 1:24-28.

- CHAZIJEV F. CH. (1979) Fermentativnaja aktivnost' počv. Nauka, Moskva, s. 142-150.
- KAKAR P., JEFFERY F.N. (2005) Biological markers for metal toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 19(2): 335-349.
- KANDELER E., TSCHERKO D., BRUCE K.D., STEMMER M., HOBBS P.J., BARDGETT R.D., AMELUNG W. (2000) Structure and function of the soil microbial community in microhabitats of a heavy metal polluted soil. *Biology and Fertility of Soils* 32(5): 390-400.
- KARACA A., CETIN S.C., TUGAY O.C., KIZILKAYA R. (2010) Effects of heavy metals on soil enzyme activities. In: SHERAMETI I., VARNA A. (eds.) Soil heavy metals. Springer, New York, p. 237-262.
- KLINDA J., LIESKOVSKÁ Z. A KOL. (2005) Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2004. Ministerstvo životného prostredia, Bratislava, 244 s., ISBN 80-88833-40-X.
- LAHUČKÝ L., ÁRVAY J., BYSTRICKÁ J., ČÉRY J. (2009) Obsah ťažkých kovov v poľnohospodárskej produkcii dopestovanej v metalicky zaťaženom regióne Slovenska. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)* 55(3): 156-163.
- LINKEŠ V., DOŠEKOVÁ A., KOBZA J., MAKOVNÍKOVÁ J. (1997) The natural geochemical sources of soil contamination by risk trace elements in Slovakia. Proceedings n. 20 – Vedecké práce č. 20. VÚPÚ, Bratislava.
- MENG X., AI Y., LI R., ZHANG W. (2018). Effects of heavy metal pollution on enzyme activities in railway cut slope soils. *Environmental Monitoring and Assessment* 190(4): 197.
- MICHAELI E., BOLTIŽIAR M. (2010) Vybrané lokality environmentálnych záťaží v zaťažených oblastiach Slovenska. *Geografické Štúdie* 1: 18-47.
- PASTERNAKOVÁ D., BOBUŠKÁ L. (2016) Aktivita pôdneho mikrobiálneho spoločenstva vybraných invadovaných porastov. *Folia Oecologica* 8(1): 39-43.
- QU J., REN G., CHEN B., FAN J. (2011) Effects of lead and zinc mining contamination on bacterial community, diversity and enzymatic activities of vicinal cropland. *Environmental Monitoring and Assessment* 182(1-4): 597-606.
- RANELLA G., MENCH M., LADNI L., NANNIPIERI P. (2005) Microbial diversity and hydrolase synthesis in long-term Cd-contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 37(1): 133-139.
- SHEN G., GAO L., LU Y., HONG J. (2005) Influence of phenanthrene on cadmium toxicity to soil enzymes and microbial growth. *Environmental Science and Pollution Research* 12(5): 259-263.
- WAHSHA M., NADIMI-GOKI M., FORNASIER F., AL-JAWASREH R., HUSSEIN E.I., BINI C. (2017). Microbial enzymes as an early warning management tool for monitoring mining site soil. *Catena* 148: 40-45.
- WANG Y.P., LI Q.B., SHI J.Y., LIN Q., CHEN X.C., WU W., CHEN Y.X. (2008). Assessment of microbial activity and bacterial community composition in the rhizosphere of a copper accumulation and a non-accumulator. *Soil Biology and Biochemistry* 40(5): 1167-1177.
- YANG Y.G., SHU W.S., LAB C.Y. (2007) Heavy metal concentration and plant ability assessment of edible vegetables in Lechang lead-zinc mine area. *Metal Mine* 12: 126-127.
- YEATES G.W., ORCHAND V.A., SPEIR T.W., HUNT J.L., HERMANS M.C.C. (1994) Impact of pasture contamination by copper, chromium, arsenic timber preservative on soil biological activity. *Biology and Fertility of Soils* 18(3): 200-208.
- ZÁKON NR SR 220/2004 Z.z. Zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. 38 s.