

Vzťah medzi kadmíom a úrodotvornými formami dusíka ovplyvnenými kompostom pod cukrovou repou

RELATIONSHIP BETWEEN CADMIUM AND FERTILE FORMS OF NITROGEN AFFECTED BY COMPOST UNDER SUGAR BEAT

Jana Urminská, Tomáš Tóth, Renáta Benda Prokeiová, Janette Musilová, Dana Urminská, Alena Vollmannová
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Jedným z najvýznamnejších agrochemických problémov našej doby je kontaminácia poľnohospodárskej pôdy toxickými chemickými látkami a rozdielne, skôr deficitné zastúpenie potrebných živín, makro-, mikroprvkov v pôdach. Cukrová repa, ako najvýnosnejšia plodina mierneho pásma je charakteristická svojou citlivosťou na prostredie a vysokými nárokmi na obsah prístupných živín v pôde (1). Je dôležitou, strategickou surovinou pre mnohé štáty.

V pôde neustále prebiehajú rôzne chemické, fyzikálne a biologické procesy a ich vplyv spôsobuje intenzívne zmeny pôdných vlastností. Následne tieto zmeny majú veľký vplyv na pestované plodiny, aj na cukrovú repu. K látkam, ktoré sú zastúpené v rôznych koncentráciách v pôdnom prostredí, patrí aj z ťažkých kovov zastúpené rizikové kadmium (2) a v neposlednom rade aj agrochemicky dôležité anorganické formy dusíka. Každý chemický prvok či látka v pôdnom prostredí zohrávajú dôležitú agrochemickú, biologickú, biochemickú, environmentálnu funkciu.

Kadmium (Cd) patrí medzi vysoko rizikové ťažké kovy, je všadeprítomné v životnom prostredí. Dominantné zastúpenie má Cd predovšetkým v pôdnom prostredí. Antropogénne

činnosti v priemysle, v poľnohospodárstve a tvorba odpadov zvyšujú koncentráciu tohto prvku v poľnohospodárskych pôdach a sú nebezpečné pre pestované plodiny a ľudské zdravie (3). V kultúrnych rastlinách toxicita Cd znižuje príjem a translokáciu živín a vody do plodín, zvyšuje oxidačné poškodenie, narúša metabolizmus, fotosyntézu a inhibuje morfológiu a fyziológiu (3). Výsledkom takéhoto toxického vplyvu je aj zníženie rozkladu organickej hmoty (4). Významne zasahuje tiež do transformácie zlúčenín dusíka. Celkove, kontaminované pôdy a následne pestované plodiny predstavujú pre človeka jedno z najväznejších zdravotných rizík (5).

Dusík a jeho transformované formy v pôdnom prostredí zohrávajú nezastupiteľnú úlohu v úrodnosti pôdy. V štruktúre jeho premien v pôde, z otázky agrochémie, zohráva najvýznamnejšiu úlohu mineralizácia, nitrifikácia a denitrifikácia (1). Dusičnany (NO_3^- -N) (6) a amónna forma dusíka (NH_4^+ -N) sú hlavné formy dusíka, ktoré môžu rastliny priamo absorbovať a využívať. Má to význam, pretože amónny dusík je primárnym produktom rozkladu rastlinných a živočíšnych organických dusíkatých látok v pôdnom prostredí a následne dusičnany slúžia ako základ pre metabolické asimilačné procesy rastlín (7). Tieto anorganické formy v rozhodujúcej miere ovplyvňujú potenciál dusíka pri formovaní výšky a kvality úrod pestovaných plodín, aj cukrovej repy. Sú tiež najdôležitejšími mechanizmami pri formovaní produkčného potenciálu, v závislosti od agrochemických úprav pôdy – aplikácie organicko-minerálnych hnojív. Dusíková bilancia (8) v pôdnom prostredí je identifikovaná ako jeden z hlavných agrochemických a agroenvironmentálnych ukazovateľov.

Z otázky pestovania plodín je dnes náročné vyvarovať sa nesprávnym zásahom do pôdy. Nesprávne antropogénne zásahy do pôdy vedú k postupnej nenávratnej degradácii pôdy, ktorá znižuje úrodnosť a potenciálne sa zvyšuje vysoké bio-riziko toxických prvkov v pôde (9). V súčasnosti, z hľadiska dopytu po kvalitných plodinách a zdravých nekontaminovaných potravinách je v poľnohospodárskych podmienkach preferované pestovanie s využitím nutrične výhodných, netoxických, ekonomicky dostupných agrochemikálií. Ako potenciálne využiteľné sa javia aj alternatívne látky, najmä dostupné zhodnotiteľné biologicky rozložiteľné organické fermentačne spracované odpady. Takouto látkou je vytvorený hygienicky nezávadný kompost, ako doplnková alternatíva pre pestované plodiny, ktorá slúži k výžive plodín, slúži aj ako účinné, praktické remediačné médium, ktoré ovplyvňuje biologickú dostupnosť chemických látok pre rastliny v pôdnom prostredí (10).



Tab. I. Priemerné koncentrácie Cd, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, N_{an} v pôde a v pôde s kompostom za sledované tri roky

Vzorka	Cd		$\text{NH}_4^+\text{-N}$		$\text{NO}_3^-\text{-N}$		N_{an}	
	P	P+K	P	P+K	P	P+K	P	P+K
	Priemerná koncentrácia ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty)							
1	2,84	2,50	4,68	16,40	6,39	11,92	11,07	28,33
2	2,39	2,02	4,58	16,71	6,00	11,63	10,58	28,34
3	2,15	1,96	4,69	17,97	4,99	12,99	9,69	30,97
4	1,87	2,11	4,85	15,80	3,68	11,46	8,53	27,26
5	2,08	2,24	5,15	15,04	3,48	12,37	8,62	27,41
6	2,35	2,18	7,40	19,43	4,02	11,56	11,42	31,00
7	2,57	2,52	8,55	22,28	4,91	13,64	13,47	35,91
8	2,63	2,33	8,36	23,31	6,60	14,85	14,96	38,16
9	2,52	2,5	7,13	18,10	9,30	16,67	16,43	34,77
10	2,70	2,65	8,56	19,23	11,12	18,83	19,68	38,06
11	2,78	2,58	7,21	18,50	10,24	17,52	17,44	37,00
12	2,93	2,62	5,92	21,45	7,95	13,99	13,87	35,44

P pôda; P+K pôda s kompostom (pomer 1:1)

Cieľom tejto práce bolo posúdiť vzťah rizikového kadmia zastúpeného v pôde pod cukrovou repou ku vybraným anorganickým úrodovným formám dusíka ($\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$), stanoviť koncentrácie Cd v pôde a v pôde ovplyvnenej hygienicky nezávadným kompostom (v pomere 1:1, ide o najvhodnejší pomer podľa platnej agrochemickej praxe) metódou atómovej absorpčnej spektrometrie, stanoviť obsahy $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ v pôde a v pôde ovplyvnenej kompostom (1:1) kolorimetrickou metódou, vyhodnotiť štatistickú preukaznosť, významnosť vzájomných závislostí sledovaných parametrov (Cd, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, N_{an}) pomocou SAS Software, zistiť, či kompost ako organicko-minerálne hnojivo a zároveň remediačné médium ovplyvňuje toxické kadmium a vybrané anorganické formy dusíka.

Materiál a metodika

Problematiku sme riešili počas trojročného obdobia v podmienkach pôdneho pestovateľského pokusu na experimentálnej báze Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Dolnej Malante, na podhorskej lokalite pohoria Tribeč, v časti juhozápadného Slovenska. Lokalita patrí do kukuričnej výrobnjej oblasti so stredne ťažkou hlinitou pôdou, do teplého a mierne suchého klimatického regiónu, kde priemerná teplota za vegetačné obdobie je 16,4 °C a priemerný ročný úhrn zrážok 561 mm. Experiment bol založený v troch opakovaníach (11). Metodika odberu vzoriek pôdy sa riadila platnou legislatívou SR o poľnohospodárskej pôde (12, 13). Odber pôdnych vzoriek počas troch rokov pestovania repy cukrovej odrody Expert sa uskutočnil zo závrtovej sondy z hĺbky 0–0,2 m a okrem toho sa uskutočnil odber piatich separátnych vzoriek z povrchového horizontu, z náhodne určených miest s hmotnosťou 0,5 kg pre chemické analýzy (13). Vzorky sa homogenizovali a sušili pri 40 °C počas 48 hodín. Následne boli rozomleté na jemnozrnnom (2,0 mm) pôdnom mlynčeku VEB ThurmZG1 (prístroj VEB Elektromotorenwerke Kreis, Zwickau, DDR). Analýza vzoriek

výluhu (v 1% extraktach K_2SO_4) anorganických foriem dusíka bola pre $\text{NO}_3^-\text{-N}$ vykonaná s použitím kyseliny 2,4-fenoldisulfónovej a pre N-NH_4^+ pomocou Nesslerovho činidla, kolorimetrickou metódou (Spectroflex 6100, spoločnosť WTW) v opakovaníach. Hodnota N_{an} (anorganického dusíka) predstavuje ich sumu. Analýza vzoriek výluhu pre určenie koncentrácií Cd sa uskutočnila s použitím Aqua regia ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ v pomere 1:3) s použitím metódy atómovej absorpčnej spektrometrie na prístroji VarianAA240Z (Varian, Austrália).

Kompost ako organicko-minerálne hnojivo a praktické remediačné médium bol vytvorený podľa platnej legislatívy Slovenskej republiky pre produkciu a spracovanie biologicky rozložiteľných organických odpadových materiálov a na základe agrochemickej praxe (14), za prísneho dodržania jednotlivých fáz spracovania materiálov a fermentačného postupu.

Získané výsledky sme zostavili do prehľadných tabuliek a štatisticky vyhodnotili metódou SAS 9.4 (severná Kalifornia, USA) (15) Spearmanovým korelačným koeficientom (16).

Výsledky a diskusia

Rizikové chemické prvky ako kadmium majú vo všeobecnosti za následok negatívny vplyv na organizmy, na pestované plodiny (17). Naproti tomu anorganické úrodovné formy dusíka sú pre rast rastlín nenahraditeľné. Ale všeobecne platí, že nadlimitné koncentrácie chemických látok v pôdnom prostredí spôsobujú nežiaduce účinky pre všetky organizmy (8).

Pre posúdenie kvality pôdneho prostredia je dôležité poznať chemické zastúpenie jednotlivých koncentrácií prvkov a látok v tomto médiu, ako rizikových, tak aj nevyhnutných pre organizmy. Analyticky zistené priemerné koncentrácie sledovaných parametrov v pôde a v pôde ovplyvnenej kompostom (1:1) za trojročné sledované obdobie dokumentuje tab. I. Výsledky počas sledovaného obdobia ukázali (tab. II.), že obsahy $\text{NO}_3^-\text{-N}$ v pôde kolísali od hodnoty 2,15 do 14,73 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, v pôde

Tab.II. Analýza variácií vybraných parametrov za sledované obdobie

Rok	Analyzované látky	Priemer	Štandardná odchýlka	Suma	Minimálna hodnota	Maximálna hodnota	
První sledovaný rok	Cd	P	2,4525	0,33374	29,43	1,98	2,96
		P+K	2,33667	0,27424	28,04	1,89	2,71
	NH ₄ ⁺ -N	P	6,39	1,54651	76,68	4,71	8,49
		P+K	17,95583	2,27729	215,47	15,22	22,38
NO ₃ ⁻ -N	P	5,96583	2,54157	71,59	2,15	9,51	
	P+K	11,94083	2,37768	143,29	8,15	15,71	
N _{an}	P	12,35583	3,33864	148,27	6,89	17,39	
	P+K	29,89667	3,51363	358,76	24,2	35,46	
Druhý sledovaný rok	Cd	P	2,51	0,33823	30,12	1,78	2,93
		P+K	2,345	0,25465	28,14	1,95	2,68
	NH ₄ ⁺ -N	P	6,32917	3,97958	75,95	3,84	9,28
		P+K	18,67667	3,94597	224,12	14,26	26,42
NO ₃ ⁻ -N	P	6,905	3,74409	82,86	2,76	14,73	
	P+K	15,32333	4,61641	183,88	8,82	23,93	
N _{an}	P	13,23583	5,06693	158,83	7	23,05	
	P+K	33,99917	6,27208	407,99	24,6	42,63	
Tretí sledovaný rok	Cd	P	2,49419	0,32609	29,93	1,82	2,89
		P+K	2,37	0,21076	28,44	2,04	2,68
	NH ₄ ⁺ -N	P	6,5525	1,58607	78,63	4,86	9,5
		P+K	19,4225	2,86063	233,07	15,08	23,8
NO ₃ ⁻ -N	P	6,79833	2,12086	81,58	3,76	9,84	
	P+K	14,595	1,49356	175,14	12,03	16,94	
N _{an}	P	13,35083	3,04106	160,21	9,76	18,61	
	P+K	34,0175	3,78377	408,21	27,11	40,74	

P pôda; P+K pôda s kompostom (pomer 1:1)

ovplyvnenej kompostom (pomer premiešania 1:1) od 8,15 do 23,93 mg·kg⁻¹. Obsahy N-NH₄⁺ v pôde varírovali od 3,84 do 9,50 mg·kg⁻¹, v pôde s kompostom od 14,26 do 26,42 mg·kg⁻¹. Celkove teda obsahy N_{an} (N-NH₄⁺ + NO₃⁻-N) v pôde varírovali od 6,89 do 23,05 mg·kg⁻¹ a v pôde ovplyvnenej kompostom od 24,20 do 42,63 mg·kg⁻¹. Namerané koncentrácie kadmia v pôde sa pohybovali počas trojročného obdobia od hodnoty 1,78 do 2,96 mg·kg⁻¹, v pôde s kompostom od 1,89 do 2,71 mg·kg⁻¹ suchej hmoty. Toxicita kadmia je vysoko nebezpečná ako pre cukrovú repu, tak pre každú zložku životného prostredia (18). Najintenzívnejšie Cd prijímajú rastliny rastúce v kyslých pôdach chudobných na humus (19).

Kritérium zásobenosti pôdneho dusíka (poľnohospodárska zásoba N_{an}) po aplikácii hygienicky nezávadného kompostu dosiahlo dobrú až vysokú úroveň (> 20 mg·kg⁻¹). Kritériá dávajú možnosť racionálne aplikovať hnojivá, a tým pádom sa dusík efektívne využije pestovanou plodinou (20).

Zistili sme, že v pôde ovplyvnenej kompostom dochádza k výrazným zmenám koncentrácií sledovaných chemických

látok (tab. I.), tak ako uvádzajú aj DE O. PINTO ET AL. (21) aj KHAN ET AL. (10). Koncentrácie kadmia v pôde ovplyvnenej kompostom klesli v prvom sledovanom roku oproti zistenej koncentrácii v čistej pôde bez aplikovaného kompostu o 8,45 %, v druhom roku o 8,53 % a v treťom výskumnom o 10,07 %. Obsahy N-NH₄⁺ v pôde s kompostom vzrástli v prvom sledovanom roku o 163,60 %, v nasledujúcom roku o 184,69 % a v treťom roku o 150,53 %. Podobne aj obsahy NO₃⁻-N vzrástli v prvom roku o 65,19 %, v ďalšom roku o 62,46 % a v poslednom výskumnom roku o 72,15 %. Sumárne obsah N_{an} v pôde ovplyvnenej kompostom vzrástol oproti zistenej koncentrácii v čistej pôde bez aplikovaného kompostu v prvom roku o 103,91 %, v druhom roku o 84,95 % a v treťom sledovanom roku o 118,95 %.

Viacere vedecké práce dokazujú, že aplikácia hygienicky nezávadného kompostu pozostávajúceho z biologicky rozložiteľných organických odpadových látok účinne znižuje biodostupnosť rizikových chemických látok pre rastliny, dokonca aj v pôdach s vysokou koncentráciou kadmia (10, 22). Biopristupnosť kadmia z pôdy do rastlín závisí od mnohých chemicko-fyzikálnych faktorov (od pH, Eh, mikroorganizmov, koncentrácie v pôde, vlhkosti, teploty) (22, 23). Závisí aj od genotypu špecifickej rastliny (3). V pôdnom prostredí kyselina fulvová a kyselina humínová sú dôležité zlúčeniny, ktoré majú potenciál meniť fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy a transformovať znečisťujúce látky

v kontaminovaných pôdach. Funkčné skupiny, ako sú karboxylové a fenolové-OH skupiny, ktoré sú spojené s kyselinou fulvovou a humínovou, umožňujú kyselinám interagovať so znečisťujúcimi chemickými prvkami a látkami za vzniku komplexov s vysokým obsahom ťažkých kovov, a tak zohrávajú hlavnú úlohu pri zmene biologickej dostupnosti, transportu a rozpustnosti chemických prvkov v pôde (3).

Čo sa týka potvrdenia vedecky zistených faktov štatistickým doplnením, vysoko preukazné štatistické korelácie boli zistené medzi toxickým kadmim a poľnohospodárskymi úpravami pôdy pri aplikácii organických látok (24). Zistili sme, že štatistická závislosť sledovaných parametrov bola preukazná pre vzťahy medzi Cd v pôde aj v pôde ovplyvnenej kompostom ku NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, N_{an} za každý sledovaný rok. Mnohé vedecké práce v tomto prípade dokazujú vysokú korelačnú závislosť pre pôdu a kompost (10, 21). Výsledky potvrdzujú, že koncentrácie chemických látok v pôde výrazne ovplyvňuje pridávanie kompostu. Ukázalo sa, že tam, kde v dôsledku pridávania kompostu do pôdy klesajú obsahy kadmia, zvyšujú sa vybrané anorganické formy dusíka.

URMINSKÁ a spol.: Vzťah medzi kadmium a úrodotočnými formami dusíka ovplyvnenými kompostom pod cukrovou repou

Spearmanove korelačné koeficienty potvrdili pozitívnu koreláciu pre všetky nami sledované parametre. Táto skutočnosť ukazuje, že obsahy Cd, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, N_{an} boli v priebehu rokov preukazne vzájomne závislé. Z výsledkov vyplynulo, že pozitívna korelácia bola preukazná pre vzťah medzi Cd v pôde k NO₃⁻-N v pôde v prvom roku, kde hladina významnosti dosiahla úroveň P (preukazná hladina) < 0,01, taktiež pre vzťah Cd v pôde ovplyvnenej kompostom : NO₃⁻-N v pôde ovplyvnenej kompostom (P < 0,01) (tab. III.) v druhom výskumnom roku vystúpil do popredia, vzťah Cd v pôde ovplyvnenej kompostom k NO₃⁻-N v pôde, kde hladina významnosti dosiahla opäť úroveň P < 0,01, a v treťom roku vystúpil opäť do popredia vzťah Cd v pôde s kompostom ku N_{an} v pôde (P < 0,01) (tab. III.). Výrazne vysoká preukazná korelácia bola zistená (10, 21) medzi jednotlivými vybranými formami obsahov dusíka v pôde a ich obsahmi v pôde ovplyvnenej kompostom, s hladinou významnosti až P < 0,001.

Výsledky potvrdili, že aplikovaný hygienicky nezávadný kompost ako organicko-minerálne hnojivo výrazne pozitívne zasahuje do koncentrácií chemických prvkov a látok v pôde a zabezpečuje výživu rastlín úrodotočnými formami dusíka.

Tab.III. Preukazná štatistická závislosť medzi vybranými parametrami za sledované obdobie

Korelačný vzťah	Prvý rok		Druhý rok		Tretí rok		
	Cd P	Cd P+K	Cd P	Cd P+K	Cd P	Cd P+K	
NO ₃ ⁻ -N	P	• 0,71865**	0,57668*	0,65719*	0,71659**	0,40774 ^{ns}	0,56841 ^{ns}
	P+K	0,65567*	0,71231**	0,30033 ^{ns}	0,54305 ^{ns}	0,50395 ^{ns}	0,54575 ^{ns}
NH ₄ ⁺ -N	P	0,29522 ^{ns}	0,56460 ^{ns}	0,32255 ^{ns}	0,42657 ^{ns}	0,55432 ^{ns}	0,60813*
	P+K	0,14770 ^{ns}	0,09481 ^{ns}	0,48221 ^{ns}	0,29080 ^{ns}	0,61253*	0,60730*
N _{an}	P	0,68383*	0,70053*	0,61119*	0,69623*	0,57347 ^{ns}	0,71359**
	P+K	0,68675*	0,54347 ^{ns}	0,52477 ^{ns}	0,58277*	0,66201*	0,67456*

• vypočítaný Spearmanov koeficient; hladina významnosti: * P < 0,05 ** P < 0,01; ns – nesignifikantné; SAS 9.4; P pôda; P+K pôda+kompost (pomer 1:1)

Záver

Ak sa organicko-minerálne hnojivá používajú v praxi vedecky správne, v súlade s agrochemickou praxou a legislatívou, môžu zvýšiť produkciu plodín, zlepšiť kvalitu pôdneho prostredia a znížiť dostupnosť toxických prvkov do plodín (7). Pridávanie kompostu a priemyselných dusíkatých hnojív do pôdy podporuje mineralizáciu pôdnej organickej hmoty, čo vedie k zvýšeniu jednotlivých foriem anorganického dusíka v pôde (25, 26). Kompost mal analyticky aj preukazne štatisticky významný vplyv na obsahy Cd vo vzťahu k anorganickým úrodotočným formám dusíka.



V súčasnosti je veľmi dôležité hľadať environmentálne, agrochemicky a ekonomicky vhodné a dostupné prostriedky na zvýšenie produkčného potenciálu pôd a na sanáciu agroenvironmentálnych problémov (27). Takýmto alternatívnym prostriedkom môže byť aj kompost.

Sumárne môžeme konštatovať, že zistili sme významné korelácie medzi obsahmi Cd v pôde, v pôde ovplyvnenej kompostom a úrodovnými formami dusíka počas celých troch sledovaných rokov. Vytvorený hygienicky nezávadný a aplikovaný kompost do pôdy, znížil koncentračnú hladinu rizikového Cd a zvýšil podiel potrebných anorganických foriem dusíka v pôde, čo má priaznivý vplyv pre kvalitu pestovaných plodín, aj cukrovej repy.

Príspevok vznikol vďaka projektu VEGA 1/0512/22.

Súhrn

Z hľadiska potenciálnych účinkov prirodzeného (geogénneho) a antropogénneho agro-prostredia na kvalitu pestovaných plodín je potrebné pamätať na to, že dôležitým faktorom je zachovanie nekontaminovaného životného prostredia, s vysokým produkčným potenciálom pôd. Cieľom výskumu bolo analyzovať a vyhodnotiť pôdu pod pestovanou cukrovou repou, vytvorený kompost a pôdu ovplyvnenú pridaním kompostu, s cieľom stanoviť obsahy Cd, NO_3^- -N, NH_4^+ -N v pôde a pôde ovplyvnenej kompostom (pomer 1:1), zhodnotiť štatistickú významnosť Cd vo vzťahu k anorganickým úrodovným formám dusíka, zistiť, či kompost ovplyvňuje sledované parametre. Analýzy sa uskutočňovali pomocou metód atómovej absorpčnej spektrometrie a kolorimetrických metód. Získané výsledky boli štatisticky vyhodnotené pomocou softvérovej metódy SAS 9.4 Spearmanovým korelačným koeficientom. Výsledky ukázali, že obsah NO_3^- -N v pôde dosiahol hodnotu $14,73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, NH_4^+ -N $9,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, N_{an} $23,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a Cd $2,96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Pre pôdu s kompostom (pomer 1:1) obsah NO_3^- -N dosiahol úroveň $23,93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, NH_4^+ -N $26,42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, N_{an} $42,63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a Cd $2,71 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Výrazne vysoká preukazná štatistická vzájomná závislosť bola zistená pre všetky vybrané anorganické formy dusíka ($P < 0,001$) v sledovaných rokoch. Vysoká preukazná štatistická závislosť

($P < 0,01$) bola zaznamenaná pre vzťah Cd v pôde k NO_3^- -N v pôde (v prvom roku riešenia), pre vzťah Cd pôda + kompost k NO_3^- -N v pôde (v druhom roku riešenia) a pre vzťah Cd v pôde + kompost k NO_3^- -N v pôde + kompost (v prvom roku riešenia) a následne v treťom roku riešenia pre vzťah Cd v pôde + kompost k N_{an} v pôde. Kompost mal preukazne štatisticky vysoko významný vplyv na Cd vo vzťahu k anorganickým formám dusíka, znížil hladiny Cd a zvýšil podiel anorganických úrodovných foriem dusíka.

Kľúčové slová: cukrová repa, experimentálny pokus, kadmium, kompost – remediačné médium, preukazná štatistická závislosť, úrodovné anorganické formy dusíka.

Literatúra

- ONDIŠÍK, P. ET AL.: Dynamika anorganického dusíka v pôde pod repou cukrovou v závislosti od prípravy pôdy. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (5–6), s. 156–160.
- SHI-WEI, L. ET AL.: Assessment of cadmium bioaccessibility to predict its bioavailability in contaminated soils. *Environment Int.*, 94, 2016, s. 600–606.
- HAIDER, F. U. ET AL.: Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 211, 111887, DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.111887.
- NIÑO-SAVALA, A. G. ET AL.: Cadmium pollution from phosphate fertilizers in arable soils and crops: an overview. *Frontiers Agricultural Sci. and Engineering*, 2019 (6), s. 419–430.
- TLUSTOŠ, P. ET AL.: *Risks of metal in soil in agroecosystems in the Czech Republic*. Prague, CRI. 2007, 26.
- ZHANG, X. ET AL.: Seasonal variations in nitrogen mineralization under three land use types in grassland landscape. *Acta oecologica*, 2008, 34, s. 322–330.
- LIU, Y. ET AL.: Effect of different nitrogen fertilizer management practices on wheat yields and N_2O emissions from wheat fields in North China. *J. Integrative Agriculture*, 2015, 14, s. 1184–1191.
- YLI-VIHKARI, A. ET AL.: Evaluating agri-environmental indicators (AEIs) - use and limitations of international indicators at national level. *Ecological Indicators*, 2007, 7, s. 150–163.
- YING, H. ET AL.: Heavy metals pollution and health risk assessment of soils in a typical peri-urban area in southern China. *Journal of Environmental Management*, 2018, 207, s. 159–168.
- KHAN, M. A. ET AL.: Soil contamination with cadmium, consequences and remedies using organic amendments. *Science of the Total Environment*, 2017, 601–602, s. 1591–1605.
- ONDIŠÍK, P. ET AL.: Sezónne zmeny anorganického dusíka v pôde v závislosti od aplikácie rôznych hnojív. *Listy cukrov. řepař.*, 132, 2016 (5–6), s. 168–172.
- DECREE of the MARD of Slovakia No. 59/2013 Coll. (2013). Section 27 of the Act No. 220/2004 Coll. The Protection and Use of Agricultural Land and on the Amendment.
- NAFC: Partial Monitoring System Soil. The national Agriculture and Food Centre (1th). 2019, Bratislava.
- ACT No. 79/2015 Coll.: The Waste Act, National Council of Slovakia, 2015.
- BENDA PROKEJNOVÁ, R.: *Statistic in the SAS system*. Bratislava, ASPA Press, 2014.
- STEHLÍKOVÁ, B.: *Biometrics (Glossary of terms): textbooks for distance education and other forms of education*. Nitra, SAU Press, 1999.
- ONISTRATENKO, N. V. ET AL.: Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction. *Ecology*, 2016, 35, s. 205–212.
- REHMAN, Z. U. ET AL.: Lead and cadmium contamination and exposure risk assessment via consumption of vegetables grown in agricultural soils of five-selected regions of Pakistan. *Chemosphere*, 2017, 168, s. 1589–1596.
- PENG, J. F. ET AL.: The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161, s. 633–640.

20. FECENKO, J. ET AL.: Nutrition and fertilization of field crops. Nitra, SAU, Duslo, 2000, 442 s.
21. DE O. PINTO, T. ET AL.: Assessment of the Use of Natural Materials for the Remedy of Cd Soil Contamination. *PLoS ONE*, 2016, DOI:10.1371/journal.pone.0157547.
22. URMINSKÁ, J. ET AL.: The effect of the selected remediation medium on the cadmium bioavailability in the selected ecosystem in the Southwestern locality of Slovakia. *Ecology* (Bratislava), 38, 2019 (3), s. 314–324, DOI 10.2478/eko-2019-0017.
23. BORGULAT, J. ET AL.: Heavy Metals Accumulation in Soil and Plants of Polish Peat Bogs. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2018, 27, s. 537–544.
24. CUSKE, M. ET AL.: Some adverse effects of soil amendment with organic materials – the case of soils polluted by copper industry phytostabilized with red fescue. *International Journal of Phytoremediation*, 2016, 18, s. 839.
25. KINLEY, R. D. ET AL.: Soil Test Phosphorus as an Indicator of Nitrate-Nitrogen Leaching Risk in Tile Drainage Water. *Bulletin of Environ. Contamination and Toxicology*, 2010, 84, s. 413–417.
26. LIU, Y.Y. ET AL.: Effect of synthetic dairy factory effluent containing different acids on soil microbial and chemical properties and nutrient leaching. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, s. 48.
27. SHAHID, M. ET AL.: Cadmium Bioavailability, Uptake, Toxicity and Detoxification in Soil-Plant System. *Reviews Of Environmental Contam. and Toxicology*, 2017, 241, s. 73.

Urminská J., Tóth T., Benda Prokejinová R., Musilová J., Urminská D., Vollmannová A.: Relationship between Cadmium and Fertile Forms of Nitrogen Affected by Compost under Sugar Beet

In terms of the potential effects of the natural (geogenic) and anthropogenic agricultural environment on the crop quality, it must be remembered that it is necessary to maintain an uncontaminated environment with high soil production potential. The objective of this research was to analyse and evaluate soil under sugar beet, the compost produced and the soil affected by the addition of compost, in order to determine the Cd, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N contents in topsoil and soil with added compost (1:1 ratio), to evaluate the statistical significance of Cd in relation to the fertile forms of nitrogen, and to find out whether compost influences the monitored parameters. The analyses were carried out using the Atomic Absorption Spectrometry and Colorimetric methods. The obtained results were evaluated statistically using the SAS 9.4 software method and Spearman's correlation coefficient. The results showed that NO₃⁻-N contents in soil reached 14.73 mg·kg⁻¹, NH₄⁺-N 9.50 mg·kg⁻¹, N_{in} 23.05 mg·kg⁻¹, Cd 2.96 mg·kg⁻¹, soil + compost (1:1 ratio) NO₃⁻-N 23.93 mg·kg⁻¹, NH₄⁺-N 26.42 mg·kg⁻¹, N_{in} 42.63 mg·kg⁻¹, Cd 2.71 mg·kg⁻¹ dry matter. Very high statistical dependence (P < 0.001) was observed for all inorganic fertile forms of nitrogen. High statistical dependence (P < 0.01) was observed for soil Cd to soil NO₃⁻-N, soil + compost Cd to soil NO₃⁻-N, soil + compost Cd to soil N_{in}. Compost had a statistically highly significant effect on Cd in relation to forms of nitrogen, reducing Cd concentration levels and increasing the proportion of inorganic fertile forms of nitrogen.

Key words: cadmium, compost – remediation medium, experiment, inorganic forms of nitrogen, significant statistical dependence, sugar beet.

Kontaktná adresa – Contact address:

doc. RNDr. Jana Urminská, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Ústav potravinárstva, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: jana.urminska@uniag.sk