

Obsah makro a mikroživín v pôde a jednotlivých častiach kukurice a ich bioakumulácia v kukurici po aplikácii rozdielnych dávok biouhlia

Content of macro and micronutrients in the soil and individual parts of corn plant and its bioaccumulation in corn after application of different biochar doses

Vladimír Šimanský, Nora Polláková, Martin Juriga

The aim of this study was to investigate the effect of biochar (B) applied at different doses ($0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ and $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), on contents of macro and micronutrients in a silty loam Haplic Luvisol (Dolná Malanta, Slovakia) as well as in parts of maize plant. Application of $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of biochar had significant effects on increase of soil pH, total contents of Ca as well as available K and Zn in the soil. The content of total and available Mn and Ni in the soil significantly decreased under higher application dose of biochar compared to control (B0). Significantly lower Ca and Cu content was found in stalks of corn grown on the plots where biochar was applied at the dose of $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ compared to treatment without biochar (B0). The application of biochar at both doses decreased significantly bioaccumulation of Ca in seeds of corn. The application of $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of biochar increased bioaccumulation of Ni in roots by 40%.

biochar, soil pH, nutrients, bioaccumulation, corn

Biouhlie, známe aj ako „nové čierne zlato“, je vedľajší produkt, ktorý vzniká pri pyrolýze biologických materiálov v prostredí bez prístupu kyslíka, resp. pri jeho obmedzenom pôsobení a vyznačuje sa vysokým obsahom stabilného uhlíka (12). Veľký záujem zo strany agronomickej praxe o aplikáciu tohto materiálu do pôd podnietil vedec kú komunitu zaoberať sa detailnejšie jeho vlastnosťami (14). Ukázalo sa, že z hľadiska trvalo udržateľnej produkcie môže byť biouhlie zaujímavý nástroj na zlepšenie pôdnych vlastností. Inšpirácia aplikovať biouhlie do pôdy prišla zo strednej Amazónie, kde je zmapovaných až do 350 ha človekom vytvorených „čiernych“ pôd pochádzajúcich ešte z pred Kolumbovského obdobia známych ako Terra preta (de Indio), ktoré sa vyznačujú vysokou úrodnosťou (23). Známe sú poznatky aj z iných častí sveta, ako napr. z Nemecka, Švajčiarska, Japonska, Číny. Biouhlie zvyšuje pH a to hlavne kyslých pôd (5). Niekoľko štúdií poukázalo na pozitívny efekt aplikovaného biouhlia na sekvestráciu uhlíka a tým pádom zvyšovanie jeho obsahu v pôde (11, 27, 28). Biouhlie (16) výrazným spôsobom ovplyvňuje kolobeh dusíka v pôde. Okrem chemických vlastností, má biouhlie významný vplyv na

zlepšovanie fyzikálnych (18, 25), ale i biologických vlastností pôd (13, 26).

Biouhlie je považované za významný zdroj živín a preto sa do pôdy okrem zlepšenia jej vlastností odporúča aplikovať aj kvôli zvýšeniu úrod pestovaných plodín (5, 7). Na druhej strane boli zaznamenané prípady, kde biouhlie nemalo žiadny efekt na úrodu, resp. dokonca malo negatívny vplyv na úrodu (5, 6). V týchto prípadoch to je spôsobené tým, že biouhlie môže zvyšovať imobilizáciu živín, ktoré potom nie sú prístupné pre rastliny v dostatočných koncentráciách (22). Príjem živín z pôdy do rastlín je ovplyvnený množstvom faktorov a často sme svedkami toho, že príjem jednej živiny blokuje príjem druhej (32). Taktiež, uvoľňovanie živín z hnojív je rozdielne. Z tohto dôvodu informácie o množstve živín po aplikácii biouhlia v rôznych pôdno-klimatických podmienkach majú svoje opodstatnenie. Na ich základe sú potom farmári schopní realizovať hnojenie jednotlivými hnojivami vrátane biouhlia a rozhodovať o racionálnych aplikačných dávkach.

Na základe vyššie uvedeného sme predpokladali, že aplikované biouhlie zlepši pôdne pH, zvýši obsah celkových, ale i prístupných živín v pôde. Vyššia aplikačná dávka bude mať pozitívnejší efekt v porovnaní s nižšou aplikačnou dávkou. Preto, cieľom tejto práce bolo kvantifikovať vplyv dvoch rozdielnych dávok biouhlia na množstvo makro a mikroživín v pôde a ich následný prestup do jednotlivých častí kukurice.

Materiál a metódy

Práca bola riešená na experimentálnej báze SPU Nitra (Dolná Malanta), kde bol v roku 2014 založený pokus s biouhliem. Pokus bol založený na hlinitej hneдозemi kultivnej s nízkym obsahom celkového organického uhlíka ($9,13 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Toto územie patrí do agroklimatickej oblasti veľmi teplej s priemernou ročnou teplotou vzduchu $\leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ a priemerným ročným úhrnom zrážok 550 mm.

Experiment pozostával z nasledovných variantov:

1. B0 – bez hnojenia (kontrola),
2. B10 – biouhlie v dávke $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$,
3. B20 – biouhlie v dávke $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Biouhlie bolo vyrobené pyrolýzou obilných pliev a odpadového kalu pri výrobe papiera v pomere hmoty 1 : 1, pri teplote $550 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 30 minút. Základné chemické a fyzikálne parametre vyrobeného biouhlia sú uvedené v tabuľke 1.

Na jeseň v roku 2017 (pred zberom kukurice na zrno, ktorá sa tu v tomto roku pestovala) sa pôdne vzorky pre stanovenie pH, makro a mikroživín odobrali z A horizontu (do 0,2 m) z každého variantu a jeho opakovania (celkovo 3 opakovania každého variantu). Pôdne vzorky sa zhomogenizovali, vysušili a následne podrobili analyzovaniu. V rovnakom čase bol odobraný aj rastlinný materiál, t. j. na každom variante a každom opakovaní sa odobrili celé rastliny kukurice, ktoré sa následne rozdelili na jej jednotlivé časti ako sú: koreň, stonky, listy, šúľky. Jednotlivé časti boli pomaly dosušené pri teplote $65 \text{ }^\circ\text{C}$, rozomleté a následne analyzované. V pôdnych vzorkách bolo stanovené aktívne (pomer destilovaná voda a zemina 2,5 : 1) a výmenné (pomer 1M KCl a zemina 2,5 : 1) pH – potenciometricky. V pôdnych a rastlinných vzorkách bol celkový dusík stanovený metódou podľa Kjeldahla (21). Celkové obsahy P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Ni a Zn sa analyzovali po rozklade spopolnených vzoriek lúčavkou kráľovskou. Ob-

Tabuľka 1: Základné chemické a fyzikálne vlastnosti biouhlia
Table 1: Basic chemical and physical properties of the biochar

Komponent (1)	Obsah (2)
Veľkosť častíc (mm) (3)	1 – 5
Popol (g.kg ⁻¹) (4)	383
Veľkosť povrchu (m ² .g ⁻¹) (5)	21,7
TOC (g.kg ⁻¹) (6)	531
Nt (g.kg ⁻¹)	14
pH	8,8
P (g.kg ⁻¹)	6,20
K (g.kg ⁻¹)	15
Na (g.kg ⁻¹)	0,77
Ca (g.kg ⁻¹)	57
Mg (g.kg ⁻¹)	3,9
Mn (mg.kg ⁻¹)	150
Cu (mg.kg ⁻¹)	25
Ni (mg.kg ⁻¹)	7
Zn (mg.kg ⁻¹)	110

(1) component, (2) content, (3) biochar particle size, (4) ash, (5) specific surface area (6) total organic carbon

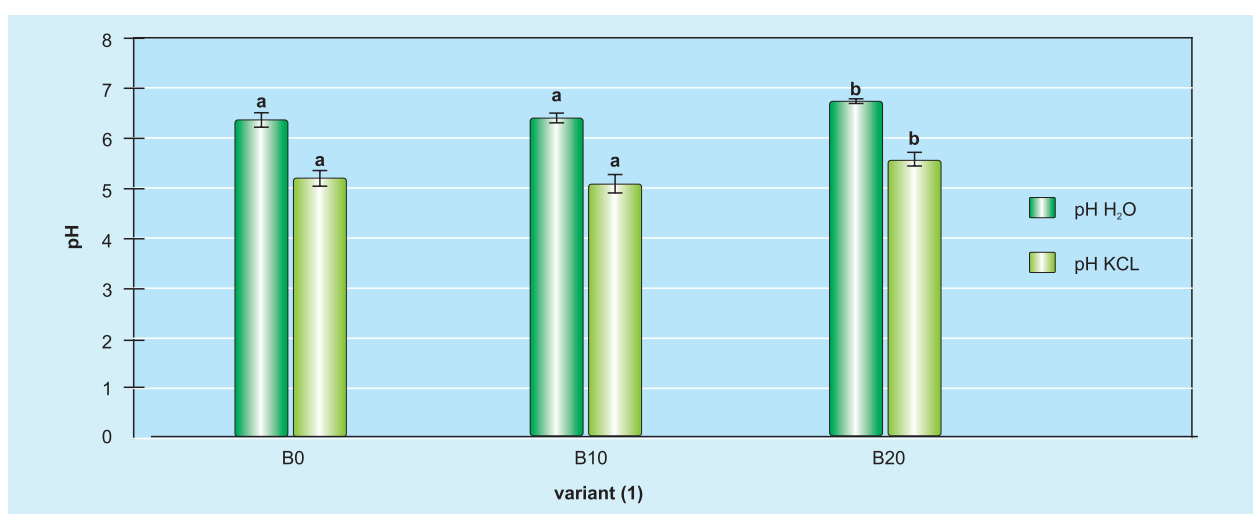
sah celkového P bol stanovený spektrofotometricky ako fosfomolybdénová modrá, zatiaľ čo zostávajúce prvky boli analyzované metódou AAS (Perkin Elmer AA 2100). Obsahy bioprístupných foriem P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Ni a Zn boli stanovené po extrakcii vzoriek v 1 mol.l⁻¹ roztokom HCl. Obsah bioprístupného P v extrakte bol analyzovaný spektrofotometricky ako fosfomolybdénová modrá, zatiaľ čo zostávajúce prvky boli analyzované metódou AAS (Perkin Elmer AA 2100). Bioakumulačný faktor bol vypočítaný ako pomer koncentrácie jednotlivých prvkov v listoch (stonkách, semenách, koreňoch) a koncentráciou prvkov v pôde (31). Výsledky boli vyhodnotené jednofaktorovou analýzou rozptylu. Priemerné hodnoty medzi va-

riantmi hnojenia boli posúdené LSD testom s minimálnou hladinou významnosti $P \leq 0,05$.

Výsledky a diskusia

Aktívna pôdna reakcia sa pohybovala v rozpätí od 6,21 do 6,79, t. j. od slabokyslého po neutrálne aktívne pH. Hodnoty výmennej pôdnej reakcie sa pohybovali od kyslej po slabokyslú (od 4,90 po 5,74). V dôsledku aplikácie biouhlia v dávke 20 t.ha⁻¹ sa hodnoty aktívnej, ale i výmennej pôdnej reakcie štatisticky významne zvýšili o 0,37 pH jednotky (obrázok 1). Podobné trendy, tzn. zvýšenie pH v dôsledku aplikácie biouhlia už boli publikované v predchádzajúcich rokoch na tomto experimente (5, 29), ale i v odlišných pôdno-klimatických podmienkach (9). Biouhlie má spravidla alkalické pH, v popole obsahuje základné kationy a pri jeho výrobe dochádza k vyžrážaniu uhličitanov, čo sú faktory, ktoré sa najmä po aplikácii do kyslých pôd podieľajú na zvyšovaní pH pôd (9). Biouhlie je okrem neutralizačného účinku aj cenným zdrojom živín a jeho aplikácia môže zásadným spôsobom ovplyvňovať kolobeh dusíka v pôde (5). Napríklad, Nelissen et al. (16) uviedli, že aplikácia biouhlia zvýšila obsah N v pôde od 25 % do 40 %. Naše výsledky túto skutočnosť nepotvrdili (tabuľka 2). Obsah celkového P sa pohyboval v rozpätí od 0,47 g.kg⁻¹ do 0,53 g.kg⁻¹ a obsah prístupného P bol v rozpätí od 0,20 g.kg⁻¹ do 0,27 g.kg⁻¹ a aplikácia biouhlia v oboch dávkach nemala vplyv na zmeny ich hodnôt v pôde, čo bolo v rozpore s našim predpokladom. Očakávali sme, že aplikácia biouhlia v dôsledku zvýšenia pH na slabokyslé, zvýši obsah najmä prístupného P. V kyslom pH môže byť problém s fixáciou P, pretože organické látky majú vysokú afinitu s Al a Fe. Na druhej strane so zvyšujúcou sa dávkou biouhlia, môže dôjsť až k alkalite pôdy a vyžrážaniu sa P spolu s Ca iónmi (17). Štatisticky významné rozdiely v obsahu prístupného K boli zistené medzi aplikovanými dávkami 10 t.ha⁻¹ a 20 t.ha⁻¹ biouhlia, avšak v porovnaní s nehojenou kontrolou, štatisticky významný rozdiel

Obrázok 1: Štatistické vyhodnotenie aktívnej a výmennej pôdnej reakcie
Figure 1: Statistical evaluation of soil pH



(1) treatment

Rozdielne písmená medzi stĺpcami rovnakej farby (priemerné hodnoty) signalizujú štatisticky významný rozdiel – LSD test

Different letters (a, b) between columns at the same colour indicate that treatment means are significantly different at $P \leq 0.05$ according to LSD multiple-range test

Tabuľka 2: Obsah celkových a prístupných makroživín v pôde

Table 2: Content of total and available macronutrients in soils

Variant (1)	N _t (2) (g.kg ⁻¹)	P (g.kg ⁻¹)		K (g.kg ⁻¹)		Ca (g.kg ⁻¹)		Mg (g.kg ⁻¹)	
		celkový (3)	prístupný (4)	celkový	prístupný	celkový	prístupný	celkový	prístupný
B0	1,30±0,09a	0,48±0,05a	0,20±0,04a	7,03±0,51a	0,39±0,07ab	3,26±0,09a	3,67±0,24ab	1,55±0,12a	0,25±0,03a
B10	1,29±0,05a	0,47±0,02a	0,20±0,09a	7,17±0,35a	0,35±0,03a	3,37±0,27a	3,63±0,30a	1,68±0,14a	0,25±0,04a
B20	1,39±0,05a	0,53±0,03a	0,27±0,06a	7,48±0,25a	0,45±0,05b	3,79±0,15b	4,13±0,20b	1,64±0,01a	0,28±0,03a

(1) treatment, (2) content of total nitrogen, (3) total, (4) available

Tabuľka 3: Obsah celkových a prístupných mikroživín v pôde

Table 3: Content of total and available micronutrients in soil

Variant (1)	Cu (mg.kg ⁻¹)		Mn (mg.kg ⁻¹)		Ni (mg.kg ⁻¹)		Zn (mg.kg ⁻¹)	
	celkový (2)	prístupný (3)	celkový	prístupný	celkový	prístupný	celkový	prístupný
B0	14,8±0,51a	5,47±0,34a	773±6,20ab	247±29,05a	29,5±0,66b	4,57±0,20a	53,5±2,68a	4,90±0,31a
B10	14,5±0,11a	5,43±0,22a	784±11,61b	263±34,62ab	28,3±0,85ab	4,83±0,27a	53,2±1,22a	5,53±1,25ab
B20	14,4±0,32a	5,70±0,49a	768±2,42a	321±24,40b	27,9±0,53a	5,27±0,15b	54,8±1,35a	6,93±0,79b

(1) treatment, (2) total nutrient content, (3) available

Tabuľka 4: Obsah makro a mikroprvkov v jednotlivých častiach kukurice

Table 4: Content of macro and micronutrients in parts of corn plant

Živina (1)	Variant (2)	Rastlinné časti kukurice (3)			
		korene (4)	stonky (5)	listy (6)	semená (7)
N (g.kg ⁻¹)	B0	4,77±0,44a	4,41±0,50a	5,50±0,47a	14,1±1,79a
	B10	4,29±1,51a	5,02±0,98a	5,94±1,35a	13,5±1,34a
	B20	5,32±0,77a	3,44±0,93a	4,38±0,99a	12,1±1,60a
P (g.kg ⁻¹)	B0	0,41±0,12a	0,68±0,31a	0,51±0,20a	1,94±0,11a
	B10	0,56±0,25a	0,70±0,40a	0,55±0,37a	1,81±0,08a
	B20	0,64±0,31a	0,57±0,32a	0,37±0,20a	1,77±0,21a
K (g.kg ⁻¹)	B0	3,97±1,29a	17,6±1,45a	3,48±0,78a	3,20±0,28a
	B10	7,10±2,95a	16,5±2,26a	3,78±1,00a	3,23±0,06a
	B20	4,51±1,87a	16,0±0,26a	2,46±0,28a	3,42±0,12a
Ca (g.kg ⁻¹)	B0	9,64±2,97a	2,00±0,18a	10,1±1,32ab	2,03±0,73b
	B10	8,09±1,05a	2,47±0,42a	13,1±2,27b	0,17±0,09a
	B20	11,6±1,47a	2,36±0,51a	9,01±1,43a	0,12±0,03a
Mg (g.kg ⁻¹)	B0	2,02±0,14a	0,99±0,25a	2,22±0,12a	0,98±0,06a
	B10	2,13±0,12a	1,10±0,34a	2,63±0,43a	0,96±0,01a
	B20	1,92±0,22a	1,15±0,17a	2,57±0,42a	0,95±0,05a
Mn (mg.kg ⁻¹)	B0	189±30,49a	5,83±1,84a	101±24,65a	4,00±1,38a
	B10	283±89,08a	7,83±1,36a	121±27,07a	3,40±1,56a
	B20	259±54,44a	5,97±1,52a	100±23,59a	4,40±0,26a
Cu (mg.kg ⁻¹)	B0	9,20±1,84a	3,60±0,54ab	9,60±1,75a	2,40±0,06a
	B10	12,0±2,49a	3,90±1,21b	9,67±1,48a	2,23±0,01a
	B20	9,43±1,66a	2,20±0,41a	7,83±2,53a	2,57±0,05a
Ni (mg.kg ⁻¹)	B0	10,1±0,12a	1,63±0,29a	15,1±3,47a	1,03±0,24a
	B10	13,9±1,41b	1,90±0,57a	16,9±4,53a	0,87±0,15a
	B20	12,7±2,65ab	1,60±0,48a	16,1±3,68a	1,00±0,34a
Zn (mg.kg ⁻¹)	B0	54,5±3,38a	15,2±4,66a	19,6±6,26a	23,2±2,73a
	B10	50,5±5,75a	18,4±6,93a	17,5±4,90a	23,0±0,87a
	B20	45,1±3,69a	18,1±6,28a	19,4±3,89a	22,9±0,90a

(1) nutrient, (2) treatment, (3) part of corn plant, (4) roots, (5) stems, (6) leaves, (7) seeds

Tabuľka 5: Bioakumulácia makro a mikroprvkov v jednotlivých častiach kukurice
Table 5: Bioaccumulation of macro and micronutrients in parts of corn plant

Živina (1)	Variant (2)	Rastlinné časti kukurice (3)			
		korene (4)	stonky (5)	listy (6)	semená (7)
N (g.kg ⁻¹)	B0	3,66±0,11a	3,41±0,63ab	4,22±0,19ab	10,8±0,92b
	B10	3,32±1,03a	3,90±0,68b	4,62±0,94b	10,5±0,61b
	B20	3,81±0,53a	2,46±0,60a	3,14±0,67a	8,66±0,96a
P (g.kg ⁻¹)	B0	0,83±0,16a	1,45±0,82a	1,07±0,54a	4,03±0,27b
	B10	1,18±0,52a	1,48±0,81a	1,17±0,77a	3,84±0,12ab
	B20	1,22±0,67a	1,05±0,55a	0,70±0,38a	3,33±0,34a
K (g.kg ⁻¹)	B0	0,57±0,22a	2,50±0,12b	0,50±0,15a	0,45±0,02a
	B10	1,00±0,44a	2,29±0,28ab	0,53±0,15a	0,45±0,03a
	B20	0,60±0,25a	2,14±0,06a	0,33±0,05a	0,46±0,03a
Ca (g.kg ⁻¹)	B0	2,97±0,93a	0,61±0,07a	3,10±0,37ab	0,62±0,24b
	B10	2,41±0,41a	0,74±0,17a	3,94±0,92b	0,05±0,03a
	B20	3,07±0,29a	0,63±0,16a	2,38±0,42a	0,03±0,01a
Mg (g.kg ⁻¹)	B0	1,30±0,08a	0,64±0,15a	1,44±0,16a	0,63±0,02a
	B10	1,28±0,17a	0,67±0,24a	1,59±0,38a	0,57±0,04a
	B20	1,17±0,14a	0,70±0,11a	1,56±0,26a	0,58±0,03a
Mn (mg.kg ⁻¹)	B0	0,24±0,04a	0,01±0a	0,13±0,04a	0,01±0a
	B10	0,36±0,12a	0,01±0a	0,16±0,04a	0,01±0a
	B20	0,34±0,20a	0,01±0a	0,13±0,03a	0,01±0a
Cu (mg.kg ⁻¹)	B0	0,62±0,11a	0,24±0,05ab	0,65±0,10a	0,16±0,02a
	B10	0,83±0,18a	0,27±0,08b	0,66±0,44a	0,15±0,02a
	B20	0,66±0,13a	0,16±0,03a	0,54±0,18a	0,18±0,02a
Ni (mg.kg ⁻¹)	B0	0,35±0,01a	0,06±0,02a	0,51±0,29a	0,03±0,01a
	B10	0,49±0,05b	0,06±0,02a	0,60±0,15a	0,03±0,01a
	B20	0,46±0,10ab	0,06±0,02a	0,58±0,43a	0,04±0,01a
Zn (mg.kg ⁻¹)	B0	1,02±0,22a	0,28±0,08a	0,37±0,14a	0,43±0,06a
	B10	0,95±0,10a	0,34±0,13a	0,33±0,09a	0,43±0,01a
	B20	0,82±0,05a	0,33±0,10a	0,35±0,22a	0,42±0,01a

(1) nutrient, (2) treatment, (3) part of corn plant, (4) roots, (5) stems, (6) leaves, (7) seeds

nebol pozorovaný. Rovnaký trend bol zistený aj v obsahu prístupného Ca. Naopak, po aplikácii 20 t.ha⁻¹ biouhlia sa obsah celkového Ca zvýšil o 16 % v porovnaní s nehojenou kontrolou (štatisticky významný rozdiel). Parvage et al. (19) uviedli, že obsahy makroživín sa v pôde štatisticky významne zvýšili práve po aplikácii biouhlia. Obsah makro, ale i mikroživín ako uviedli Butman et al. (2) je významne ovplyvnený aj typom samotného biouhlia, ale aj obsahom živín v pôde.

V dôsledku aplikácie biouhlia v dávke 20 t.ha⁻¹ sa štatisticky významne znížili obsahy celkového Ni, kým celkové obsahy Cu a Zn zostali nezmenené (tabuľka 3). Štatisticky významný rozdiel v obsahu celkového Mn bol zaznamenaný medzi variantmi B10 a B20, avšak ak sa oba porovnali s kontrolným variantom (B0), štatisticky významná zmena v prípade aplikácie biouhlia a kontroly nebola zistená. Obsah prístupnej Cu nebol zmenený ani po aplikácii oboch dávok biouhlia. Štatisticky významné zvýšenie v obsahu prístupného Mn, Ni a Zn bolo zistené po aplikácii 20 t.ha⁻¹ biouhlia. Podľa kritérií na posudzovanie mikroživín, ktoré vypracoval Ložek (15) vyplýva, že obsahy prístupnej Cu boli vo všetkých prípadoch veľmi vysoké, taktiež obsahy prístupného Zn boli vysoké. Obsahy prístupného Mn boli tiež vysoké, ale vo variante B20 sa jeho zásoba presunula do kategórie veľmi vysoký obsah. Prístupnosť živín (8)

závisí od množstva faktorov, čo sa následne odráža aj na príjme živín rastlinami. Najvýznamnejším faktorom ovplyvňujúcim mobilitu živín ako uviedli títo autori je pH pôdy a napríklad optimálne pH pôdy pre príjem Zn a Mn je 6, kým pre Cu a Ni je to hodnota 5,5. Kabata-Pendias a Pendias (8) tiež uviedli, že napríklad zlúčeniny mangánu zvyšujú výrazne svoju rozpustnosť v dôsledku narastania pH v alkalickom prostredí (pH ~ 8.0).

Obsahy makro a mikroprvkov v jednotlivých častiach kukurice sú uvedené v tabuľke 4. Vo všeobecnosti najvyššie obsahy N a P boli stanovené v semenách kukurice, čo korešponduje s poznatkami Kováčika (10). Tento autor uviedol, že obsah N a P je vyšší v generatívnych orgánoch ako vegetatívnych. Najvyššie obsahy K, Ca, Mg a Ni boli zistené v stonkách kukurice a v koreňoch kukurice boli stanovené najvyššie obsahy Mn, Cu a Zn. Vyšší obsah Ca a Mg sa vo všeobecnosti nachádza v mladších častiach rastlín a vyššie obsahy týchto prvkov bývajú stanovené vo vegetatívnych ako generatívnych orgánoch (4, 10, 30). Okrem Ni v koreňoch, Cu v stonkách a Ca v listoch kukurice neboli pozorované štatisticky významné rozdiely medzi variantmi, kde sa aplikovalo biouhlie a nehojenou kontrolou v obsahu makro a mikroprvkov v jednotlivých rastlinných častiach kukurice. Vaněk et al. (30) uviedli, že príjem jednej živiny môže blokovať príjem druhej. Na-

príklad príjem Ca je v antagonizme s príjmom K. V našom prípade, bolo biouhlie významným zdrojom Ca (tabuľka 1) a jeho obsah či už celkový alebo prístupný Ca v pôde sa zvýšil po aplikácii 20 t.ha⁻¹ biouhlia (tabuľka 2). Vo variante B20 bol tiež zvýšený obsah prístupného K, čo sa prejavilo pri jeho luxusnom príjme a menšom príjme Ca a Mg do rastliny. Obsahy Ca a Mg v stonkách a semenách kukurice boli nižšie ako 5 g.kg⁻¹ a 1,5 g.kg⁻¹, čo sú podľa Reuter a Robinson (24) kritické hodnoty pre zásobenosť pletív týmito prvkami. Štatisticky významné rozdiely v obsahu Cu v stonkách kukurice boli zistené iba medzi variantmi, kde bolo pridané biouhlie, t. j. medzi B10 a B20. Štatisticky významný rozdiel nebol zistený medzi kontrolou a aplikáciou biouhlia na obsah Cu v stonkách kukurice. Obsah Ni v koreňoch sa štatisticky významne (o 39 %) zvýšil v dôsledku aplikácie 10 t.ha⁻¹ biouhlia. Dávka 20 t.ha⁻¹ biouhlia nemala štatisticky významný efekt na obsah Ni v koreňoch kukurice.

V našom prípade, aplikované biouhlie zvýšilo pH pôdy (obrázok 1), čo môže viesť k výraznej redukcii prístupnosti niektorých živín a to hlavne v alkalických pôdach. Prístupnosť živín a ich následná bioakumulácia v rastlinných pletivách môže byť limitovaná aj samotnou sorpciou častíc biouhlia (1). V dôsledku týchto vplyvov môže byť zaznamenaná imobilizácia napr. Ca a P, ale tiež aj niektorých škodlivých látok ako sú ťažké kovy (22). Z hľadiska pH by v našom prípade výrazný problém nemal byť pozorovaný, keďže hodnoty pH sa významne zvýšili iba pri dávke 20 t.ha⁻¹ biouhlia, a aj to do hranice slabo kyslé až neutrálne pH. Fecenko a Ložek (4) uviedli, že optimálny príjem živín je pozorovaný pri pH 6,5. Sorpčná schopnosť pôdy môže byť zásadným spôsobom ovplyvnená aplikáciou biouhlia, závisí však aj od vlastností samotného biouhlia, ktoré sa formujú aj počas jeho výrobného procesu. Debela et al. (3) uviedli, že vlastnosti biouhlia závisia od samotnej vstupnej suroviny, podmienok výroby, ale aj aplikovanej dávky biouhlia, času a veľkosti častíc, ktoré sú v kontakte s pôdnymi časticami (27). Vo všeobecnosti vyššia bioakumulácia bola zaznamenaná v prípade makro ako mikroprvkov v jednotlivých častiach kukurice. V semenách kukurice sme zaznamenali najvyššiu bioakumuláciu N a P, kým napr. v listoch zase Ca, Mg a Ni. Nižšia bioakumulácia N, P v stonkách, listoch a semenách kukurice bola zistená vo variantoch, kde bola aplikovaná vyššia dávka biouhlia, avšak štatisticky významný rozdiel bol pozorovaný v tomto variante iba v prípade obsahu N a P v semenách kukurice. Štatisticky významne nižšiu bioakumuláciu K sme pozorovali v stonkách kukurice a to vo variantoch B20. Nižšia bioakumulácia Ca v semenách kukurice bola zistená po aplikácii oboch dávok biouhlia. Významná bioakumulácia Ni bola pozorovaná v koreňoch kukurice a to vo variante B10. Nikel je prvok, ktorý sa ľahko transportuje do rastliny (8), ale jeho vyššie koncentrácie sú pozorované najmä v nadzemných častiach rastlín (20).

Záver

Výsledky ukázali, že iba aplikácia biouhlia v dávke 20 t.ha⁻¹ významne zvýšila pôdne pH, obsah celkového Ca a prístupného K a Zn. Na druhej strane v dôsledku aplikácie 20 t biouhlia na ha sme pozorovali štatisticky významné zníženie celkových a prístupných obsahov Mn a Ni. Obsah Ca v listoch a obsahy Cu v stonkách kukurice odobraných z variantov, kde sa aplikovalo biouhlie v dávke 20 t.ha⁻¹ boli významne nižšie ako na nehojenom

variante. V semenách kukurice sme zaznamenali najvyššiu bioakumuláciu N a P, kým v listoch zase Ca, Mg a Ni. Nižšia bioakumulácia Ca v semenách kukurice bola zistená po aplikácii oboch dávok biouhlia. Významná bioakumulácia Ni bola pozorovaná v koreňoch kukurice a to vo variante, kde bolo biouhlie aplikované v dávke 10 t.ha⁻¹.

Biouhlie sa môže používať na zlepšenie pôdnej reakcie, najmä kyslých pôd. Z hľadiska dostatočnej a zdraviu nezávadnej produkcie pestovaných plodín je veľmi dôležité poznať požiadavky rastlín na živiny. Z tohto dôvodu ak má byť biouhlie aplikované do pôdy ako cenný zdroj živín musí sa zvýšená pozornosť venovať obsahu makro a mikroživín v samotnom biouhli, pretože ich obsah môže byť značne nevyvážený. Na základe získaných výsledkov navrhujeme, aby sa do pôdy používalo biouhlie spolu s ďalšími živinami. Dávky ostatných živín pridávané do pôdy by mali zohľadňovať požiadavky jednotlivých rastlín, pričom sa musí počítať aj so živinami uvoľnenými z biouhlia v nasledujúcich rokoch. Koľko živín sa uvoľňuje z biouhlia v jednotlivých rokoch po jeho aplikácii do pôdy je otázkou, ktorou je potrebné sa ešte dôkladne zaoberať.

Literatúra

- (1) BEESLEY, L. – MORENO-JIMÉNEZ, E. – GOMEZ-EYLES, J.L. 2010. Effects of biochar and green waste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. In *Environmental Pollution*, vol. 158, 2010, pp. 2282–2287.
- (2) BUTNAN, S. – DEENIK, J.L. – TOOMSAN, B. – ANTAL, M.J. – VITYAKON, P. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. In *Geoderma*, vol. 237–238, 2015, pp. 105–116.
- (3) DEBELA, F. – THRING, R.W. – AROCENA, J.M. 2012. Immobilization of heavy metals by co-pyrolysis of contaminated soil with woody biomass. In *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 223, 2012, pp. 1161–1170.
- (4) FECENKO, J. – LOŽEK, O. 2000. Výživa a hnojenie poľných plodín. Nitra : SPU, 2000. 452 s. ISBN 80-7137-777-5.
- (5) HORÁK, J. – KONDRLOVÁ, E. – IGAZ, D. – ŠIMANSKÝ, V. – FELBER, R. – LUKAC, M. – BALASHOV, E.V. – BUCHKINA, N. P. – RIZHIYA, E.Y. – JANKOWSKI, M. 2017. Biochar and biochar with N-fertilizer affect soil N₂O emission in Haplic Luvisol. In *Biologia*, vol. 72, 2017, no. 9, pp. 995–1001.
- (6) HUANG, M. – YANG, L. – QIN, H. – JIANG, L. – ZOU, Y. 2013. Quantifying the effect of biochar amendment on soil quality and crop productivity in Chinese rice paddies. In *Field Crops Research*, vol. 154, 2013, pp. 172–177.
- (7) JONES, D.L. – ROUSK, J. – EDWARDS-JONES, G. – DELUCA, T.H. – MURPHY, D.V. 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. In *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 45, 2012, pp. 113–124.
- (8) KABATA-PENDIAS, A. – PENDIAS, H. 1999. Biogeochemistry of trace elements. Florida : Boca Raton, 1999, 400 p.
- (9) KIM, H.S. – KIM, K.R. – KIM, H.J. – KIM K.H. – YANG, J.E. – OK, Y.S. – OWENS, G. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. In *Environ. Earth Sci.*, 74, pp. 1–11.
- (10) KOVÁČIK, P. 2014. Princípy a spôsoby výživy rastlín. Nitra : SPU, 2014, 278 s. ISBN 978-80-552-1193-0.
- (11) LAGHARI, M. – MIRJAT, M.S. – HU, Z. – FAZAL, S. – XIAO, B. – HU, M. – CHEN, Z. – GUO, D. 2015. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. In *Catena*, vol. 135, 2015, pp. 313–320.

- (12) LAHORI, A.H. – GUO, Z. – ZHANG, Z. – LI, R. – MAHAR, A. – AWASTHI, M.K. – SHEN, F. – SIAL, T.A. – KUMBHAR, F. – WANG, P. – JIANG, S. 2017. Use of Biochar as an Amendment for Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Prospects and Challenges. In *Pedosphere*, vol. 27, 2017, no. 6, pp. 991–1014.
- (13) LEHMANN, J. – RILLIG, M.C. – THIES, J. – MASIELL, C.A. – HOCKADAY, W.C. – CROWLEY, D. 2011. Biochar effects on soil biota, a review. In *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 43, 2011, pp. 1812–1836.
- (14) LIMA, J.R.S. – SILVA, W.M. – MEDEIROS, E.V. – DUDA, G.P. – CORRÊA, M.M. – FILHO, A.P.M. – CLERMONT-DAUPHIN, C. – ANTONINO, A.C.D. – HAMMECKER, C. 2018. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. In *Geoderma*, vol. 319, 2018, pp. 14–23.
- (15) LOŽEK, O. 2010. Efektivnosť hnojenia Duslofertom Extra 14-10-20-7S pri pestovaní viniča hroznorodého. In *Agrochémia*, vol. XIV. (50), 2010, no. 1, pp. 17–23.
- (16) NELISSENN, V. – RÜTTING, T. – HUYGENS, D. – STAELENS, J. – RUYSSCHAERT, G. – BOECKX P. 2012. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. In *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 55, 2012, pp. 20–27.
- (17) NELSON, N.O. – AGUDELO, S.C. – YUAN, W. – GAN, J. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. In *Soil Sci.*, vol. 176, 2011, pp. 202–218.
- (18) OBIA, A. – MULDER, J. – MARTINSEN, V. – CORNELISEN, G. – BØRRESEN, T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. In *Soil and Tillage Research*, vol. 155, 2015, pp. 35–44.
- (19) PARVAGE, M.M. – ULÉN, B. – ERIKSSON, J. – STROCK, J. – KIRCHMANN, H. 2013. Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. In *Biology and Fertility of Soils*, vol. 49, 2013, pp. 245–250.
- (20) PARZYCH, A. – CYMER, M. – JONCZAK, J. – SZYM CZYK, S. 2015. The ability of leaves and rhizomes of aquatic plants to accumulate macro- and micronutrients. In *Journal of Ecological Engineering*, vol. 16, 2015, pp. 198–205.
- (21) PETERBURSKIJ, A. V. 1963. Praktikum po agronomičeskoj chimiji. Moskva : Izd. Selskochozjajstvennoj literatury, žurnalov a plakatov, 1963, 591 p.
- (22) REES, F. – GERMAIN, C. – STERCKEMAN, T. – MOREL, J.L. 2015. Plant growth and metal uptake by a non-hyperaccumulating species (*Lolium perenne*) and a Cd-Zn hyperaccumulator (*Noccaea caerulea*) in contaminated soils amended with biochar. In *Plant and Soil*, vol. 395, 2015, pp. 57–73.
- (23) RENNERT, R. 2007. Rethinking biochar. In *Environmental Science and Technology*, vol. 41, 2007, pp. 5932–5933.
- (24) REUTER, D.J. – ROBINSON, J.B. 1997. *Plant Analysis: An Interpretation Manual*. Melbourne : Inkata Press, 1997, 298 p.
- (25) SOHI, S.P. – KRULL, E. – LOPEZ-CAPEL, E. – BOL, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. In *Advances in Agronomy*, vol. 105, 2010, pp. 47–82.
- (26) STEINBEISS, S. – GLEIXNER, G. – ANTONIETTI, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. In *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 41, 2009, pp. 1301–1310.
- (27) ŠIMANSKÝ, V. – HORÁK, J. – IGAZ, D. – JONCZAK, J. – MARKIEWICZ, M. – FELBER, R. – RIZHIYA, E.Y. – LUKAC, M. 2016. How dose of biochar and biochar with nitrogen can improve the parameters of soil organic matter and soil structure? In *Biologia*, 71, 2016, pp. 989–995.
- (28) ŠIMANSKÝ, V. – HORÁK, J. – KOVÁČIK, P. – BAJČAN, D. 2017. Carbon sequestration in water-stable aggregates under biochar and biochar with nitrogen fertilization. In *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 23, 2017, no. 3, pp. 429–435.
- (29) ŠIMANSKÝ, V. – KLIMAJ, A. 2017. How does biochar and biochar with N fertilization influence soil pH? In *Journal of Ecological Engineering*, vol. 18, 2017, no. 5, pp. 50–54.
- (30) VANĚK, V. – LOŽEK, O. – BALÍK, J. – PAVLÍKOVÁ, D. – TLUSTOŠ, P. 2013. *Výživa poľných a záhradných plodín*. Nitra : Profi Press SK, 2013. 184 s. ISBN 978-80-970572-3-7.
- (31) ZANG, M. – CUI, L. – SHENG, L. – WANG, Y. 2009. Distribution and enrichment of heavy metals among sediments, water body and plants in Hengshuihu Wetland of Northern China. In *Ecological Engineering*, vol. 35, 2009, pp. 563–569.
- (32) ZLÁMALOVÁ, T. – ELBL, J. – BAROŇ, M. – BĚLÍKOVÁ, H. – LAMPÍŘ, L. – HLUŠEK, J. – LOŠÁK, T. 2015. Using foliar applications of magnesium and potassium to improve yields and some qualitative parameters of vine grapes (*Vitis vinifera*, L.). In *Plant, soil and environment*, vol. 61, 2015, no. 10, pp. 451–457.

doc. Ing. Vladimír Šimanský, PhD.,
Katedra pedológie a geológie, FAPZ,
SPU,
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra,
e-mail: Vladimír.Simansky@uniag.sk

Podakovanie

Práca bola riešená v rámci projektu VEGA 1/0136/17.

