

Zásoba živín v zrnitostne odlišných pôdach po pridaní biouhlikových substrátov a ich kombinácií s minerálnymi a organickými hnojivami

Nutrient supply in texturally different soils after addition of biochar and their combinations with mineral and organic fertilizers

Dušan Šrank, Vladimír Šimanský, Martin Juriga

Although the recalcitrant nature of biochar makes it unlikely to be a balanced fertilizer, it is well known that its addition plays a key role on the total and available contents of nutrients, both by direct addition and indirectly by affecting soil properties that drive the availability of nutrients. The objective of this study, therefore, was to determine whether the addition of biochar and biochar with other mineral or organic fertilizers affects contents of total and available nutrients in the soils with different particle-size distribution. This study was conducted in two localities (1. Dolná Streda: sandy soil, and 2. Veľké Úľany: loamy soil) with different soil texture. Two different biochar (Effeco 30/30/30 and Effeco 50/50) were applied at rates; 0, 10 and 20 t.ha⁻¹, in sandy soil in combination with mineral fertilizers and in loamy soil in combination with Italtollina (organic fertilizer). Soil samples were taken in autumn and in spring 2018 and 2019. In sandy soil, the total P content was statistically significantly increased by 7, 30, 11 and 19% in the Effeco 30/30/30 at 10 t.ha⁻¹, Effeco 30/30/30 at 20 t.ha⁻¹, Effeco 50/50 at 10 t.ha⁻¹ and Effeco 50/50 at a dose of 20 t.ha⁻¹ treatments, respectively as compared to the unfertilized control. The content of available P increased from 294 (no fertilized control) to 366 (Effeco 30/30/30 at 10 t.ha⁻¹), 364 (Effeco 30/30/30 at 20 t.ha⁻¹), 376 (Effeco 50/50 at 10 t.ha⁻¹) and 375 mg.kg⁻¹ (Effeco 50/50 at 20 t.ha⁻¹) and, in the case where the mineral fertilizers were added with biochar, increased from 243 (fertilized control) to 322 (Effeco 30/30/30 at 10 t.ha⁻¹ + mineral fertilization), 291 (Effeco 30/30/30 at 20 t.ha⁻¹ + mineral fertilization), 268 (Effeco 50/50 at 10 t.ha⁻¹ + mineral fertilization) and 354 mg.kg⁻¹ (Effeco 50/50 at 20 t.ha⁻¹ + mineral fertilization). In comparison to unfertilized control, the contents of total Fe significantly increased in treatments Effeco 30/30/30 in both rates as well as in treatment Effeco 50/50 at 20 t.ha⁻¹. Total Fe contents were statistically significantly reduced by 15, 18, 18 and 14% in all biochar treatments with added mineral fertilizers and both doses compared to fertilized controls. On the other hand, biochar combined with mineral fertilization resulted in significant decrease in total contents of Fe, Cu and Zn in sandy soil. The availability of Cu and Zn increased only when higher doses of both biochars were used, but their combination with mineral fertilization increased

the availability of Fe, but on the other hand reduced the availability of Mn, Cu and Zn in sandy soil. In comparison to unfertilized control, the application of Effeco at 20 t.ha⁻¹ and Effeco 50/50 at both rates statistically significantly decreased content of available P in loamy soil. Higher contents of available K by 40% in Effeco 30/30/30 at 10 t.ha⁻¹ + organic fertilization and by 28% in Effeco 50/50 at 10 t.ha⁻¹ + organic fertilization than fertilized control were determined. In loamy soil, the application of biochars resulted in higher total Ca and Mg contents compared to unfertilized control.

Effeco, biochar, nutrients, fertilization, sandy soil, loamy soil

V súčasnom období je hnojenie pokladané za základ modernej poľnohospodárskej výroby, pretože môže byť hlavným zdrojom živín, ktoré sa zúčastňujú na metabolizme rastlín s čím úzko súvisí úroda a kvalita dopestovaných plodín (12, 22). Okrem toho, hnojenie je jedným z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich zmeny vlastností pôdy. Prostredníctvom dodaných živín z hnojív sa okrem zlepšenia živinového režimu pôd môžu regulovať biologické, chemické či fyzikálne vlastnosti pôd (11). Optimálne dávky minerálnych hnojív, resp. ich kombinácie s organickými hnojivami môžu byť príčinou vyššej produktivity pôdy s následne vyššími úrodami ako iba používanie samotných organických hnojív (10), alebo iba používanie jednostrannej a neuváženej aplikácie minerálnych hnojív, mnohokrát spájanej s degradáciou najmä fyzikálnych vlastností pôd (20). Racionálne hnojenie vytvára predpoklady vyváženej výživy rastlín a tým dobrej kvalitatnej produkcie. Usmerňuje kolobeh látok a živín v prírode v súlade s udržateľným rozvojom, teda získanie potrebnej produkcie so zachovaním neobnoviteľných zdrojov, najmä úrodnosti pôdy pre ďalšie generácie (22). Vo svete, aplikácia minerálnych hnojív z hľadiska času a efektivity je najrýchlejší spôsob zvýšenia obsahu živín pre pestované rastliny a ich aplikácia za posledné desaťročia významne vzrástla (8). Avšak tento agronomický nástroj moderného poľnohospodárstva má aj svoje nedostatky v spojitosti s ich neracionálnym používaním. Na zvýšenie zásob živín sa v mnohých regiónoch sveta okrem minerálnych a bežných organických hnojív začalo používať biouhlie a jeho rôzne kombinácie z inými hnojivami ako nástroj trvalo udržateľného poľnohospodárstva. Biouhlie je relatívne nový pojem, ale nie je to novinka. Pôdy na celom svete obsahujú biouhlie, ktoré sa do nich dostalo najmä prostredníctvom prírodných udalostí, ako sú napr. požiare, ale i zámernou aplikáciou za účelom zvýšenia úrodnosti pôd. Záujem o biouhlie sa začal rozvíjať pred pár rokmi a stále narastá. Efekty aplikovaného biouhlia či biouhlia v kombinácii s maštalným hnojom, kompostom resp. NPK hnojivami na pôdne vlastnosti sú predmetom mnohých literárnych prehľadov (9, 15). Biouhlie obsahuje popoloviny, ktoré sú cenným zdrojom biogénnych prvkov pre rastliny ako napr. K, Ca a Mg (17). Napríklad, Haefelea et al. (7) uviedol, že aplikácia biouhlia vyrobeného z ryžových pliev významne zvýšila obsah N, P a K v pôde. Porózna štruktúra biouhlia poskytuje životný priestor pôdnym mikroorganizmom, čo má za následok zvýšenie ich aktivity (15). Solaiman et al. (19) uviedli, že biouhlie má pozitívny vplyv na mykorízne huby. V dôsledku jeho aplikácie sa ich kolónie výrazne zvyšujú, čo sa pozitívne odráža aj na sprístupňovaní živín, napr. ako fosforu. Sachdeva et al. (18) zistili, že pri dávke 5 – 10 t.ha⁻¹

Tabuľka 1: Varianty pokusov v jednotlivých lokalitách

Table 1: Experimental treatments

Dolná Streda – piesočnatá pôda (1)	Veľké Úľany – hliinitá pôda (2)
Pokus 1 (3)	
1. Kontrola – nehnojená pôda	1. Kontrola – nehnojená pôda
2. Effeco 30/30/30 v dávke 10 t.ha ⁻¹	2. Effeco 30/30/30 v dávke 10 t.ha ⁻¹
3. Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha ⁻¹	3. Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha ⁻¹
4. Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha ⁻¹	4. Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha ⁻¹
5. Effeco 50/50 v dávke 20 t.ha ⁻¹	5. Effeco 50/50 v dávke 20 t.ha ⁻¹
Pokus 2	
1. Kontrola – hnojená pôda v roku 2018 močovina v dávke 100 kg.ha ⁻¹ v roku 2019 močovina v dávke 100 kg.ha ⁻¹ + amofos v dávke 100 kg.ha ⁻¹	1. Kontrola – hnojená pôda v roku 2018 Italtopolitana v dávke 850 kg.ha ⁻¹ v roku 2019 Italtopolitana v dávke 1 t.ha ⁻¹
2. Effeco 30/30/30 v dávke 10 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole	2. Effeco 30/30/30 v dávke 10 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole
3. Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole	3. Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole
4. Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole	4. Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole
5. Effeco 50/50 v dávke 20 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole	5. Effeco 50/50 v dávke 20 t.ha ⁻¹ + hnojenie ako v kontrole

(1) sandy soil, (2) loamy soil, (3) experiment

biouhľia nedochádzalo k vyplavovaniu P z pôdy, dokonca jeho aplikácia prispela k jeho zadržiavaniu a to najmä vo väčších makro-agregátoch. Samotná aplikácia biouhľia nie je dostatočná na zabezpečenie požiadavky živín pre rast plodín a produktivitu pôd, avšak aplikácia biouhľia v kombinácii s ostatnými hnojivami, resp. výroba inovačných biouhľíkových substrátov môže byť účinným spôsobom, ako vyhovieť zvyšujúcim sa požiadavkám na živiny v intenzívnych poľnohospodárskych podmienkach, hlavne pri pestovaní špeciálnych plodín a zeleniny (6). Samozrejme, aplikácia biouhľia v našich pôdno-klimatických podmienkach je spájaná s nedostatkom vedomostí ohľadom jeho pôsobenia ako na pôdne vlastnosti, tak i na úrody pestovaných plodín. Pre farmárov je však dôležité to či im tento produkt prináša benefity prostredníctvom zvýšenia úrod, zlepšenie pôdnych vlastností a jednoznačne ekonomický profit. Keďže tu je predpoklad, že biouhlie z dôvodu vysokej stability v pôdnom prostredí nebude vyváženým hnojivom, avšak jeho pridanie do pôdy môže zohrávať kľúčovú úlohu v dynamike živín, a to priamym prídávaním alebo nepriamo ovplyvňovaním vlastností pôdy, ktoré zvyšujú dostupnosť živín (napr. zvýšením pH kyslých pôd či zvýšením obsahu organických látok) musia sa výrobcovia biouhľia snažiť v procese jeho výroby o dosiahnutie produktu s čo najlepšimi vlastnosťami, resp. odporúčajú jeho aplikáciu s ďalšími hnojivami v rôznych kombináciách. Následne pred samotným využívaním takýchto produktov je nutné ich overenie priamo vo výrobných podmienkach a ich účinky musia byť testované v rozdielnych pôdno-klimatických podmienkach, vrátane Slovenska.

Na základe vyššie uvedeného prehľadu cieľom tejto štúdie bolo kvantifikovať celkové a prístupné obsahy živín v zrnitostne odlišných pôdach v rámci SR po aplikácii biouhľíkových substrátov, ale i ich kombinácii s prídavným hnojením. Vychádzali sme z toho, že keďže biouhľíkové substráty obsahujú živiny ich aplikáciou sa zvýšia ich celkové obsahy vo všetkých pôdach, avšak ich prístupnosť bude nižšia práve v dôsledku ich samostatnej aplikácie a vyššej aplikáčnej dávke. Tiež sme predpokladali, že pozitívnejšie zmeny budú v pokusoch, kde okrem substrátov budú pridané aj ďalšie minerálne a organické hnojivá.

Materiál a metodika

Lokalita Dolná Streda sa nachádza na západnom Slovensku a rozprestiera sa po pravom brehu rieky Váh. Reliéf územia je rovinatý, s nepatrnými výškovými rozdielmi. Nadmorská výška územia je od 109 do 130 m n.m. Územie leží v teplej klimatickej oblasti s teplým letom, so suchou a miernou zimou a s dlhším snečným svitom, s priemernou ročnou teplotou vzduchu 9 – 10 °C a s ročným úhrnom zrážok 520 – 600 mm. Lokalita Veľké Úľany sa vyznačuje rovinatým reliéfom územia s nepatrnými výškovými rozdielmi a s nadmorskou výškou od 119 do 122 m n. m. Priemerná ročná teplota je 9 – 10 °C a priemerný ročný úhrn zrážok sa pohybuje od 520 do 600 mm.

V jeseni 2017 na lokalite Dolná Streda a na jar 2018 na lokalite Veľké Úľany boli založené pokusy, kde sa biouhľíkové substráty aplikovali samostatne, ale i v kombinácii s prídavným hnojením. Jednotlivé varianty pokusov sú zhrnuté a detailne popísané v tabuľke 1. Pokus na lokalite Dolná Streda sa realizuje v spolupráci so spoločnosťou AGROZEL s.r.o., na jej pozemku, ktorý sa nachádza v katastrálnom území Dolná Streda. Poľný pokus bol založený metódou dlhých dielov na regozemi karbonátovej. Pred založením pokusu sme odobrali pôdne vzorky na stanovenie základných chemických a fyzikálnych vlastností. V čase zakladania pokusu pôda obsahovala 81,9 % piesku, 10,5 % prachu, 7,64 % ílu, 0,97 % (nízky obsah celkového organického uhlíka (C_{org}), 1 300 mg.kg⁻¹ N (nízky obsah), 175 mg.kg⁻¹ P (vysoký obsah), 165 mg.kg⁻¹ K (dobrý obsah) a pH bolo slabo alkalické ($pH_{H_2O} = 7,60$). Celkovo bolo vytýčených 10 políčok s veľkosťou 810 m². Medzi jednotlivými políčkami sú ochranné medzery s veľkosťou 1 m. Predplodinou pred založením pokusu bola pšenica tvrdá. Na jeseň 2017 sa do pôdy do hĺbky 0,15 m zapracovalo biouhlie diskovaním. Počas doby trvania pokusu sa pôda obrába minimalizačným systémom obrábania, t. j. diskovanie, resp. kyprenie do hĺbky 0,15 – 0,18 m. Pestovanou plodinou v roku 2018 bola slnečnica ročná a v roku 2019 pšenica tvrdá.

Pokus na lokalite Veľké Úľany sa realizuje v spolupráci so spoločnosťou A & Z, Rišňovský – Halász, s.r.o., na jej pozemku, ktorá sa nachádza v katastrálnom území Veľké Úľany. Pred založením pokusu boli odobrané pôdne

Tabuľka 2: Obsahy celkových a prístupných makro živín v piesočnatej pôde
Table 2: Contents of total and available macro nutrients in sandy soil

Varianty pokusov (1)	N (g.kg ⁻¹)	Celkové obsahy (g.kg ⁻¹) (2)				Prístupné obsahy (mg.kg ⁻¹) (3)			
		P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
Pokus 1 (4)									
Kontrola	1,58a	1,13a	10,9a	51,6a	12,7a	294a	159a	8340a	235a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹	1,24a	1,21b	11,2a	42,8a	10,4a	366b	160a	5775a	277a
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹	1,59a	1,47c	12,2a	38,9a	9,75a	364b	251b	5579a	306a
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹	1,19a	1,25b	11,3a	52,1a	12,8a	376b	208b	6743a	236a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹	1,17a	1,34bc	11,9a	38,9a	11,4a	375b	201b	5781a	270a
Pokus 2									
Kontrola + minerálne hnojenie	1,48a	1,14a	11,6a	37,6a	9,67a	243a	206b	5752a	275a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹ + minerálne hnojenie	1,38a	1,20a	10,9a	43,9a	11,3a	322bc	166a	6652a	259a
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹ + minerálne hnojenie	1,12a	1,11a	11,3a	50,1a	12,3a	291b	224b	8793a	270a
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹ + minerálne hnojenie	1,11a	1,09a	10,3a	52,5a	12,6a	268ab	176a	9134a	226a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹ + minerálne hnojenie	1,34a	1,30b	11,2a	42,2a	10,6a	354c	220b	5036a	202a

(1) treatments, (2) total contents, (3) available contents, (4) experiment

vzorky na stanovenie základných chemických a fyzikálnych vlastností. Pokus bol založený na parcele, ktorá sa využíva na intenzívne pestovanie zeleniny. Pôda bola klasifikovaná ako černoziem kultizemná s obsahom piesku 38,5 %, prachu 47,8 % a obsahom ílu 13,7 %. Pôda pred založením experimentu mala stredný obsah C_{org} (1,56 %), nízky obsah N (966 mg.kg⁻¹), vysokú zásobu P (129 mg.kg⁻¹), dobrú zásobu K (255 mg.kg⁻¹) a pH bolo slabo alkalické (pH_{H₂O} = 7,78). Celkovo bolo vytýčených 10 políčok s veľkosťou 50 m² metódou náhodného rozloženia v dvojnásobnom opakovaní. Medzi jednotlivými políčkami sú ochranné medzery so šírkou 1 m. Predplodinou pred založením pokusu bola mrkva siata a pred vysadením papriky (plodina v roku 2018) sa do pôdy (do hĺbky 0,10 – 0,12 m) zapravilo biouhlie a granulované organické hnojivo Italtollina (iba v príslušných variantoch). Pôda sa obrába konvenčným spôsobom, t. j. na jeseň sa orie do hĺbky 0,20 m a na jar následne pripraví rotačným kypričom a v závislosti od pestovanej zeleniny sa využije mechanická plečka v kombinácii s chemickým ničenie burín. Počas vegetačného obdobia pestovania papriky v roku 2018 tu bola aplikovaná kvapková závlaha celkovo 3-krát (aplikačná dávka = nasýtenie pôdy vodou do 80 % plnej vodnej kapacity) a povrch pôdy bol pokrytý krycou fóliou a v prípade nepriaznivých poveternostných podmienok boli rastliny papriky zakrývané textíliou. V roku 2019 bola modelovou plodinou v tomto experimente červená repa. Počas jej vegetačného obdobia bola využitá závlaha (celkovo 2x).

Testované boli dva druhy biouhlíkových substrátov označené pod obchodným názvom Effeco 30/30/30 a Effeco 50/50 od spoločnosti Zdroje Zeme a.s., ktorá sa zaoberá ich vývojom. Effeco 30/30/30 je biouhlie miešané so sušeným ovčím hnojom a separátom z bioplynovej stanice (pôvodná surovina kravský hnoj) v pomere 1 : 1 : 1 a obsahuje: 45,4 % celkového organického uhlíka, 1,3 % celkového N, 0,79 % P a 15,5 % K a jeho pH je slabo alkalické (8,44). Effeco 50/50 je biouhlie miešané so sušeným ovčím hnojom v pomere 1 : 1 a obsahuje: 43 % celkového organického uhlíka, 1,2 % celkového N, 0,49 % P a 24,6 % K a jeho pH je slabo alkalické (8,18). Obsah rizikových prvkov v oboch produktoch neprekračuje limitné hodnoty, ktoré stanovuje vyhláška 577/2005. Oba substráty sú granulované do tvaru valca, ktorého veľkosť

je cca 2 × 1 × 1 cm. Vo variantoch s minerálnym hnojením v lokalite Dolná Streda bola v roku 2018 použitá močovina (46 % N) a v roku 2019 kombinácia priemyselne vyrábaných hnojív močovina a amofos NP 12 – 52 (N = 12 %, P₂O₅ = 52 %). Vo variantoch s organickým hnojením na lokalite Veľké Úľany bolo použité organické hnojivo Italtollina, ktoré je vyrobené z hydínového trusu a obsahuje: 4 % N, 4 % P₂O₅, 4 % K₂O a jeho pH je neutrálne. Dodávané je vo forme granúl s veľkosťou 3,5 mm.

Vzorky pôdy boli odobrané z oboch experimentov na jeseň 2018 a v jarom, ale i jesennom období 2019. V pôdných vzorkách bol celkový dusík stanovený na analyzátoe Vario MacroCube Elementar. Celkové obsahy P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu a Zn sa analyzovali po rozklade spopolnených vzoriek lúčavkou kráľovskou. Obsah celkového P bol stanovený spektrofotometricky ako molybdénová modrá, zatiaľ čo zostávajúce prvky boli analyzované metódou AAS (Perkin Elmer AA 2100). Obsahy prístupných foriem P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu a Zn boli stanovené po extrakcii vzoriek v roztoku Mehlich III.

Získané výsledky celkových a prístupných živín boli následne vyhodnotené pomocou jednofaktorovej analýzy rozptylu. Priemerné hodnoty v jednotlivých variantoch hnojenia boli posúdené LSD testom na hladine významnosti 95 %.

Výsledky a diskusia

Posúdenie obsahov celkových a prístupných makro živín

V piesočnatej pôde v oboch čiastkových experimentoch (1. bez prídavného hnojenia, 2. s prídavným hnojením) nemala aplikácia substrátov štatisticky významný vplyv na zmeny v obsahoch celkového dusíka. Aj napriek tomu však bola zaznamenaná tendencia poklesu v hodnotách N a to v dôsledku aplikácie oboch substrátov zapracovaných samostatne, resp. v kombinácii s prídavným minerálnym hnojením a v oboch aplikačných dávkach v porovnaní s ich príslušnými kontrolami (Tabuľka 2). Väčšie zmeny v poklese celkového N boli zistené v prípade substrátu Effeco 50/50 ako Effeco 30/30/30. Pokles N možno pripísať priebehu mineralizačných procesov prostredníctvom mikroorganizmov. Aplikácia organických hnojív môže vyvolávať

Tabuľka 3: Obsahy celkových a prístupných makro živín v hlinitej pôde
Table 3: Contents of total and available macro nutrients in loamy soil

Varianty pokusov (1)	N (g.kg ⁻¹)	Celkové obsahy (g.kg ⁻¹) (2)				Prístupné obsahy (mg.kg ⁻¹) (3)			
		P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
Pokus 1 (4)									
Kontrola	1,77a	1,11a	14,2a	52,7a	19,8a	150b	191a	9139a	362a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹	1,84a	1,32a	14,5a	55,1a	21,2a	153b	198a	8467a	411a
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹	1,77a	1,27a	14,8a	57,1b	22,2b	128a	180a	8337a	373a
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹	1,51a	1,06a	14,4a	59,6b	22,6b	116a	203a	9496a	359a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹	1,66a	1,22a	14,5a	62,5c	27,1c	134a	210a	8881a	387a
Pokus 2									
Kontrola + Italtolitana	1,49a	1,11a	14,6a	60,8a	23,9a	129a	170a	10211a	376a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹ + Italtolitana	1,58ab	1,30a	14,7a	58,2a	23,4a	160b	239b	9429a	399a
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹ + Italtolitana	1,71ab	1,24a	14,0a	56,1a	22,1a	138ab	172a	8736a	391a
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹ + Italtolitana.	1,94b	1,09a	14,3a	56,3a	22,1a	146b	218b	8107a	413a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹ + Italtolitana	1,87b	1,32a	15,2a	61,2a	24,4a	139ab	179a	8777a	399a

(1) treatments, (2) total contents, (3) available contents, (4) experiment

zvýšenie intenzívnej mikrobiálnej premeny, čo má za následok aj rozklad organickej hmoty pôdy a v konečnom dôsledku jej znižovanie tzv. priming efekt (13, 23). Významným akceleratorom týchto zmien môžu byť minerálne hnojivá (23). V našom prípade však toto nebol jednoznačný faktor spôsobujúci znižovanie celkového N, pretože aj vo variantoch bez pridaného minerálneho hnojenia bola pozorovaná tendencia poklesu v hodnotách celkového N. Zdôrazňujeme, že tieto zmeny neboli štatisticky významné na piesočnatej pôde. Aplikované substráty obsahujú 0,79 % (Effeco 30/30/30) a 0,49 % (Effeco 50/50) fosforu a tak sme očakávali, že jeho aplikácia prinesie pozitívny účinok, čo sa týka jeho zvýšenia v pôde. Obsah celkového P sa štatisticky významne zvýšil o 7, 30, 11 a 19 % vo variantoch Effeco 30/30/30 v dávke 10 t.ha⁻¹, Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha⁻¹, Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha⁻¹ a Effeco 50/50 v dávke 20 t.ha⁻¹ v porovnaní z nehnojenu kontrolou. Zaujímavé bolo, že aplikácia oboch substrátov v kombinácii s minerálnym hnojením nemala až tak významný efekt ako iba ich samotná aplikácia. Dokonca v niektorých variantoch bol pozorovaný depresívny efekt v porovnaní s hnojenou kontrolou. Zrejme to bude spôsobené prídavkom Amofosu, mikrobiálnou aktivitou a odberom P úrodou pestovaných plodín. Obsah prístupného P v oboch experimentoch na piesočnatej pôde bol v oboch kontrolách nad 200 mg.kg⁻¹, čo zodpovedá veľmi vysokému obsahu a v takýchto prípadoch sa hnojenie touto živinou vynecháva. Aplikované substráty dodali do pôdy P, čo sa odrazilo aj na jeho prístupnej forme, kedy sa jeho hodnoty v prípade pokusu s aplikovanými substrátmi samostatne zvýšili z 294 na 366, 364, 376 a 375 mg.kg⁻¹ a v prípade pokusu, kde so substrátmi bolo pridané minerálne hnojenie sa zvýšili z 243 na 322, 291, 268 a 354 mg.kg⁻¹ (Tabuľka 2). Akumulácia P v pôde závisí od obsahu ílu a jeho mineralogického zloženia, obsahu organickej hmoty, hodnôt pH (2). V našom prípade k jeho akumulácii mohlo dochádzať najmä vďaka tomu, že substráty sú zdrojom P, organickej hmoty a majú alkalické pH, čo prispieva k chemisorpcii P v pôde (25). Obsah celkového K sa štatisticky významne nezmenil ani po aplikácii biouhlíkových substrátov a ani ich kombinácii s minerálnym hnojením v porovnaní s ich príslušnými kontrolami (Tabuľka 2). Laghari et al. (14) uviedli, že aplikácia biouhľia do piesočnatej pôdy zvýšila obsah K v rozpätí 37-42 % v porovnaní s pôdou, kde sa biouhlie

neaplikovalo. V našom prípade, obsah prístupného K sa z dobrej zásoby presunul do kategórie vysoký obsah vďaka aplikácii Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha⁻¹. Ak sme substráty aplikovali s prídavným hnojením, tak pri nižších aplikáčnych dávkach oboch substrátov s prídavným minerálnym hnojením sme zaznamenali štatisticky významný pokles v hodnotách prístupného K v porovnaní s variantom kontrola s minerálnymi hnojením. Rajkovich et al. (17) uviedli, že biouhlie okrem iného obsahuje i bázické kationy, vrátane vápnika a horčíka, takže je predpoklad, že po jeho zapravení do pôdy bude dochádzať k neutralizácii pH najmä kyslých pôd, ale i zvyšovaniu ich obsahov v pôdach. Oba testované substráty obsahovali Ca a Mg (Effeco 30 : 30 : 30: Ca = 22 000 mg.kg⁻¹, Mg = 5 800 mg.kg⁻¹; Effeco 50:50: Ca = 42 000 mg.kg⁻¹, Mg = 4 500 mg.kg⁻¹), ale aj napriek tomu sme po ich zapracovaní do piesočnatej pôdy pozorovali zníženie celkového Ca a Mg, avšak pre veľkú variabilitu hodnôt bez štatistickej významnosti (Tabuľka 2). Výrazne nižšie hodnoty celkového Ca a Mg boli stanovené v prípade vyššej aplikáčnej dávky u oboch biouhlíkových substrátov v porovnaní s nehnojenou kontrolou. Takýto trend nebol zistený v prípade aplikácie substrátov v kombinácii s minerálnym hnojením voči hnojenej kontrole (kontrola s minerálnym hnojením). Obsahy prístupného Ca a Mg sa v dôsledku aplikácie biouhlíkových substrátov či už samostatne, resp. v kombinácii s minerálnym hnojením v porovnaní s ich príslušnými kontrolami síce menili, avšak pre veľkú variabilitu hodnôt bez štatistickej významnosti.

Obsahy celkového N v našich pôdach sa pohybujú v rozpätí od 0,11 do 0,23 % v závislosti od pôdneho typu, zrnitosti zloženia (1), ale i iných intenzifikačných faktorov ako je pôdny manažment zahrňujúci i hnojenie pôd (13). Obsahy N v oboch čiastkových pokusoch na hlinitej pôde sa pohybovali od 1,49 do 1,94 % čo zodpovedá stredným obsahom. Aplikácia biouhlíkových substrátov nemala žiadny štatisticky významný efekt na zmeny celkového N v hlinitej pôde v porovnaní z nehnojenou kontrolou, avšak aplikácia oboch testovaných substrátov v kombinácii s prídavným organickým hnojením zvýšila obsahy N o 6, 15, 30 a 26 % v porovnaní s kontrolou hnojenou s prídavným organickým hnojením ako to dokumentujú výsledky v tabuľke 3. Tento efekt najmä v pokuse s prídavným organickým hnojením možno pripísať negatívne priming efektu (4, 23), kedy sa v dôsledku aplikácie biouhlíkových

Tabuľka 4: Obsahy celkových a prístupných mikro živín v piesočnatej pôde

Table 4: Contents of total and available micro nutrients in sandy soil

Varianty pokusov (1)	Celkové obsahy (2)				Prístupné obsahy (3)			
	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn
	g.kg ⁻¹				mg.kg ⁻¹			
Pokus 1 (4)								
Kontrola	11,9a	391a	12,5a	40,4a	357a	78a	2,20a	8,45a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹	13,1ab	428a	14,6b	48,2a	332a	70a	2,95a	10,7ab
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹	14,8b	433a	17,2c	55,4b	308a	72a	3,35b	13,4b
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹	12,2a	393a	15,0b	43,8a	396a	74a	2,50a	9,15a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹	14,7b	437a	18,4c	64,8b	387a	74a	3,80b	18,0b
Pokus 2								
Kontrola + mineral. hnoj.	14,8b	477b	21,1b	83,0b	242a	97c	5,65b	25,8b
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹ + mineral. hnoj.	12,5a	424ab	14,8a	51,4a	355c	85b	3,15a	11,7a
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹ + mineral. hnoj.	12,2a	402a	14,0a	49,4a	316b	82b	2,85a	10,4a
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹ + mineral. hnoj.	12,1a	412a	14,0a	43,6a	301b	76a	2,05a	8,05a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹ + mineral. hnoj.	12,8a	409a	15,3a	55,0a	352c	77ab	3,15a	14,4a

(1) treatments, (2) total contents, (3) available contents, (4) experiment

Tabuľka 5: Obsahy celkových a prístupných mikro živín v hlinitej pôde

Table 5: Contents of total and available micro nutrients in loamy soil

Varianty pokusov (1)	Celkové obsahy (2)				Prístupné obsahy (3)			
	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn
	g.kg ⁻¹				mg.kg ⁻¹			
Pokus 1 (4)								
Kontrola	18,5a	514a	29,9a	62,0a	133b	99a	9,10a	6,75a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹	19,6ab	533a	30,1a	63,8a	131b	103a	9,40a	7,05a
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹	20,5b	519a	30,1a	63,8a	108a	99a	9,4a	6,35a
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹	17,8a	539a	30,1a	61,0a	98a	100a	9,6a	5,80a
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹	18,6a	543a	33,7a	64,4a	113ab	105a	10,1a	6,50a
Pokus 2								
Kontrola + Italtopolitana	18,3a	545a	28,6a	79,5c	118a	100a	9,40a	6,10a
Effeco 30/30/30 10 t.ha ⁻¹ + Italtopolitana	20,5b	527a	27,8a	70,2b	142b	99a	9,35a	7,40b
Effeco 30/30/30 20 t.ha ⁻¹ + Italtopolitana	17,4a	529a	29,9a	61,7a	140b	97a	9,40a	6,80ab
Effeco 50/50 10 t.ha ⁻¹ + Italtopolitana.	18,1a	532a	31,2a	61,0a	130b	105a	9,75a	6,90ab
Effeco 50/50 20 t.ha ⁻¹ + Italtopolitana	20,7b	548a	30,6a	64,3ab	116a	104a	9,55a	6,50ab

(1) treatments, (2) total contents, (3) available contents, (4) experiment

substrátov najmä Effeco 50/50 s prídavným organickým hnojením zvýšil obsah stabilnej organickej hmoty odolnejšej voči mikrobiálnemu rozkladu (Effeco 50/50 obsahuje viac biouhľia v mixe ako Effeco 30/30/30). Aplikácia oboch substrátov do hlinitej pôdy síce zvýšila obsahy celkového P (okrem Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha⁻¹ pridaného samostatne resp. aj v kombinácii s Italtopolitana), avšak bez štatistickej významnosti. Na druhej strane boli pozorované štatisticky preukazné zmeny na zmeny prístupného P po ich aplikácii v porovnaní s príslušnými kontrolami (Tabuľka 3). V porovnaní s nehnojenou kontrolou, aplikácia Effeco 30/30/30 v dávke 20 t.ha⁻¹ a obe dávky substrátu Effeco 50/50 štatisticky významne znížili obsah prístupného P. Obsah prístupného P v kontrole bol vysoký a v dôsledku aplikácie substrátu Effeco 50/50 v dávke 10 t.ha⁻¹ sa jeho hodnoty presunuli do dobrej zásoby. Obsah prístupného P v pokuse s prídavným organickým hnojením sa štatisticky významne zvýšili v porovnaní s hnojenou kontrolou, avšak v dôsledku vyššej aplikačnej dávky oboch substrátov toto

zvýšenie bolo nižšie v porovnaní s nižšou aplikačnou dávkou. Obsah P v tomto prípade bol okrem bežných faktorov, ktoré rozhodujú o jeho obsahu v pôde ovplyvnený samotnou aplikáciou biouhľíkových substrátov, ktoré zásadným spôsobom môžu ovplyvňovať sorpciu pôdy a tým pádom aj manažment živín (21). Obsah celkového K v pôdach SR kolíše od 0,8 do 3,2 % a vyšší býva spravidla v hlinitých a ílovitých pôdach v porovnaní s piesočnatými (13), čo je v súlade aj s našimi výsledkami, ak sme porovnali celkové obsahy K v piesočnatej a v hlinitej pôde. V hlinitej pôde obsah celkového K ani v jednom z čiastkových pokusov nebol štatisticky významne zmenený a to aj napriek skutočnosti, že oba substráty obsahovali K. Obsah prístupného K bol v oboch kontrolách vyhovujúci a v dôsledku aplikácie iba biouhľíkových substrátov sa jeho obsahy významne nezmenili. Vo variantoch Effeco 30/30/30 a Effeco 50/50 v kombinácii s organickým hnojením a v oboch prípadoch v aplikačnej dávke 10 t.ha⁻¹ sme zaznamenali zvýšenie prístupného K o 40 a 28 % v porovnaní s hnojenou kon-

trolou. Obsah prístupného K sa tak vďaka tomu presunul z kategórie vyhovujúcej zásoby do dobrej. Pri vyšších dávkach bolo pozorované zvýšenie, avšak bez štatistickej významnosti (Tabuľka 3). Obsahy celkového Ca a Mg sa v hlinitej pôde štatisticky významne zvýšili v dôsledku aplikácie oboch substrátov v porovnaní s nehnojenou kontrolou, pričom vyššie zvýšenie bolo pozorované v dôsledku vyššej aplikačnej dávky. Ak sme porovnali aplikáciu oboch substrátov v kombinácii s organickým hnojením voči variantu kontrola s organickým hnojením, zistili sme, že rozdiely medzi variantmi a hnojenou kontrolou neboli štatisticky významné. Obsahy prístupného Ca a Mg sa pohybovali v pomerne širokom rozpätí a vyznačovali sa pomerne širokou variabilitou a preto neboli štatisticky významne zmenené v dôsledku zapracovania biouhlíkových substrátov aplikovaných samostatne, resp. s prídavným organickým hnojením v porovnaní s príslušnými kontrolami (Tabuľka 3).

Posúdenie obsahov celkových a prístupných mikro živín

Obsah celkového Fe v piesočnatej pôde sa pohyboval v rozpätí od 11,9 do 14,8 g.kg⁻¹ pôdy a jeho zastúpenie bolo ovplyvnené aplikáciou biouhlíkových substrátov. Obsahy celkového Fe sa štatisticky významne zvýšilo vo variantoch Effeco 30/30/30 v dávke 10, ale i 20 t.ha⁻¹, a v prípade testovaného Effeca 50/50 to bolo iba pri dávke 20 t.ha⁻¹ v porovnaní s nehnojenou kontrolou. Diametrálne opačný efekt biouhlíkových substrátov na obsah celkového Fe bol zistený v prípade, keď boli spolu so substrátmi aplikované minerálne hnojivá. Obsahy celkového Fe sa štatisticky významne znížili, a to o 15, 18, 18 a 14 % vo všetkých variantoch a dávkach testovaných substrátov v kombinácii s minerálnym hnojením v porovnaní s hnojenou kontrolou (Tabuľka 4). Kováčik a Ryant (12) uviedli, že aj napriek vysokým obsahom Fe v pôde (mnohokrát aj vyšší obsah ako 5 %) je len jeho malá časť prístupná. Koncentrácia nad 75 mg.kg⁻¹ sa považuje už za vysoký obsah a jeho koncentrácia nad 250 mg.kg⁻¹ za veľmi vysoký obsah (16). Alkalicke biouhlie (tiež náš prípad) aplikované do alkalickej pôdy minimalizuje prístupnosť živín (14), najmä prístupnosť Fe, Zn, Cu a Mn (5). Obsah prístupného Fe sa znížil po aplikácii Effeco 30/30/30 – viac po pridaní vyššej dávky, kým na druhej strane po aplikácii oboch dávok substrátu Effeco 50/50 sme zaznamenali nárast v obsahu prístupného Fe v porovnaní s nehnojenou kontrolou. Nameované hodnoty však mali veľký rozptyl v rámci jednotlivých variantov a tak získané výsledky nemali štatisticky potvrdenú relevantnosť. Štatisticky významný vplyv na zvýšenie prístupného Fe v piesočnatej pôde sme pozorovali po aplikácii oboch testovaných substrátov v oboch dávkach v kombinácii s minerálnym hnojením v porovnaní s hnojenou kontrolou. Vysvetľujeme si to prídávaním močoviny do pôdy, ktorá znižuje pH pôdy (13), a tak môže dochádzať k zvyšovaniu prístupnosti živín vrátane Fe na alkalickej pôde. Obsah celkového Mn po aplikácii biouhlíkových substrátov sa zvýšil, avšak nie štatisticky významne v porovnaní s nehnojenou kontrolou. Naopak, aplikácia substrátov v kombinácii s minerálnym hnojením znížila celkové obsahy Mn – výraznejšie po aplikácii vyššej dávky oboch substrátov (Tabuľka 4). Prístupnosť Mn sa zvýšila, ak bolo k substrátom aplikované prídavné minerálne hnojenie. Čím bola aplikačná dávka oboch substrátov vyššia, tým vyšší obsah celkových, ale i prístupných obsahov Cu a Zn bol stanovený v porovnaní s nehnojenou kontrolou.

Na druhej strane, celkové a prístupné obsahy Cu a Zn sa po aplikácii biouhlíkových substrátov spolu s minerálnymi hnojivami významne znížili (Tabuľka 4). Zníženie prístupnosti Cu a Zn môže súvisieť v kombinácii biouhlíkových substrátov a minerálnych hnojív. Pridané minerálne hnojivo mohlo čiastočne eliminovať alkalickej efekt biouhlie, avšak biouhlie je zdrojom organickej hmoty, ktorá môže ovplyvňovať príjem živín (24).

Obsahy celkového Fe v hlinitej pôde boli štatisticky významne zvýšené po aplikácii 20 t.ha⁻¹ substrátu Effeco 30/30/30 v porovnaní s nehnojenou kontrolou a v prípade vyšších dávok oboch substrátov aplikovaných spolu s prídavným organickým hnojením v porovnaní s hnojenou kontrolou. Štatisticky významne v porovnaní s hnojenou kontrolou sa znížil i obsah celkového Zn, ale iba vo variantoch, kde boli substráty kombinované s organickým hnojením (Tabuľka 5). Yuan et al. (26) uviedli, že biouhlie prostredníctvom jeho pH, kationovej výmennej kapacity, pórovitosti, ale i vďaka veľkému mernému povrchu môže nepriamo zadržiavať živiny, a tým ovplyvňovať ich príjem rastlinami, ale i vyplavenie z pôdy. Samozrejme priamu a významnú úlohu zohrávajú aj vlastnosti použitého biouhlie a preto tieto priame i nepriame vplyvy biouhlie treba brať do úvahy pri hodnotení obsahov celkových a prístupných foriem živín v pôdach (3). Aplikácia alkalickej biouhlie do alkalickej pôdy redukuje prístupnosť Fe, Zn, Cu a Mn (5), čo čiastočne potvrdzujú aj naše výsledky. Obsah prístupného Fe sa významne znížil po aplikácii 20 t.ha⁻¹ Effeca 30/30/30 a 10 t.ha⁻¹ Effeca 50/50 v porovnaní s nehnojenou kontrolou. Obsah ostatných mikro živín nebol štatisticky významne zmenený v dôsledku aplikácie testovaných substrátov ak sme ich aplikovali samostatne voči nehnojené kontrole. Obsah prístupného Fe v porovnaní s hnojenou kontrolou sa výrazne zvýšil, ak sa substráty kombinovali s prídavným organickým hnojením (okrem variantu Effeco 50/50 20 t.ha⁻¹ + Italtopolitana). Významne sa zvýšili i obsahy prístupného Zn po aplikácii 10 t.ha⁻¹ Effeca spolu s organickým hnojením v porovnaní s hnojenou kontrolou. Obsahy prístupného Mn a Cu sa výrazne nezmenili na hlinitej pôde po aplikácii kombinácie Effeca + Italtopolitana (Tabuľka 5).

Záver

Naše výsledky poukazujú na to, že okrem aplikácie biouhlíkových substrátov na obsahy jednotlivých celkových a prístupných makro a mikro živín v zrnitostne rozdielnych pôdach má okrem aplikačnej dávky aj prídavné hnojenie minerálnymi, resp. organickými hnojivami. Celkovo výraznejší a v niektorých prípadoch i diametrálne odlišný efekt bol pozorovaný v zrnitostne ľahkej ako v stredne ťažkej pôde.

Na piesočnatej pôde sa obsah celkového P zvýšil iba po aplikácii testovaných substrátov, kým obsah prístupného P sa výrazne zvýšil i po aplikácii ich kombinácie s minerálnym hnojením. Taktiež obsahy celkového Fe, Cu a Zn sa zvýšili po aplikácii biouhlíkových substrátov, kým na druhej strane ich kombinácia s minerálnym hnojením mala za následok ich významný pokles v piesočnatej pôde. Prístupnosť Cu a Zn v piesočnatej pôde sa zvýšila iba v prípade použitia vyšších dávok oboch substrátov, avšak ich kombinácia s minerálnym hnojením zvýšila prístupnosť Fe, ale na druhej strane znížila prístupnosť Mn, Cu a Zn. Na hlinitej pôde sa po aplikácii biouhlíkových substrátov výrazne zvýšil obsah celkového Ca a Mg. Obe testované

Effeca samostatne znížili prístupnosť P, kým ich kombinácia s prídavným organickým hnojením zvýšila jeho prístupnosť.

Biouhlíkové substráty sú významným zdrojom živín a ich aplikácia do pôdy vo väčšine prípadov priniesla pozitívnu odozvu či už na zvýšenie celkových, ale i prístupných živín.

Literatúra

- (1) BIELEK, P. 1998. Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Bratislava : VÚPOP, 252 s. ISBN 80-85361-44-2.
- (2) CASSON, J. P. – BENNETT, D. R. – NOLAN, S. C. – OLSON, B. M. – ONTKEAN, G. R. 2006. Degree of phosphorus saturation thresholds in manure-amended soils of Alberta. In *J. Environ. Qual.*, vol. 35, 2006, pp. 2212–2221.
- (3) DAI, Z. – ZHANG, X. – TANG, C. – MUHAMMAD, N. – WU, J. – BROOKES, P. C. – XU, J. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification—a critical review. In *Sci. Total Environ.*, vol. 581–582, 2017, pp. 601–611.
- (4) FISCHER, D. – GLASER, B. 2012. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. In *Management of Organic Waste*, Rijeka : Tech Europe, 2012, pp. 167–198.
- (5) GUNES, A. – INAL, A. – TASKIN, M.B. – SAHIN, O. – KAYA, E.C. – ATAKOL, A. – 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. In *Soil Use Manag.*, vol. 30, 2014, pp. 182–188.
- (6) GWENZI, W. – NYAMBISHI, T. J. – CHAUKURA, N. – MAPOPE, N. 2018. Synthesis and nutrient release patterns of a biocharbased N-P-K slow-release fertilizer. In *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 15, 2018, pp. 405–414.
- (7) HAEFELEA, S.M. – KONBOONC, Y. – WONGBOONC, W. – AMARANTEA, S. – MAARIFATB, A.A. – PFEIFFER, E.M. – KNOBLAUCH, C. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. In *Field Crops Res.*, vol. 121, 2011, pp. 430–440.
- (8) JEFFERY, S. – ABALOS, D. – SPOKAS, K. A. – VERHEIJEN, F. G. A. 2015. Biochar effects on crop yield. In LEHMANN, J. – JOSEPH, S. (Eds.) *Biochar for environmental management*, Routledge. New York : Taylor and Francis Group, 2015, pp. 301–325. ISBN 978-0-415-70415-1.
- (9) JURIGA, M. – ŠIMANSKÝ, V. 2018. Effect of biochar on soil structure – review. In *Acta fytotechnica et zootechnica*, vol. 21, 2018, no. 1, pp. 11–19. ISSN 1338-4376.
- (10) KORSÆTH, A. 2012. N, P, and K budgets and changes in selected topsoil nutrients over 10 years in a long-term experiment with conventional and organic crop rotations. In *Applied Environ. Soil Sci. J.*, vol. 25, 2012, pp. 1–17.
- (11) KOVÁČIK, P. – KMEŤOVÁ, M. – RENČO, M. 2013. The impact of fresh sawdust and dry pig manure produced on sawdust bedding application on the nutrients mobility in soil and sugar beet yield. In *J. Ecol. Eng.*, vol. 14, 2013, pp. 69–76.
- (12) KOVÁČIK, P. – RYANT, P. 2019. *Agrochémia, princípy a prax*. Nitra : SPU, 2019, 358 s. ISBN 978-80-552-2051-2.
- (13) KOVÁČIK, P. 2014. *Princípy a spôsoby výživy rastlín*. Nitra : SPU, 2014, 278 s. ISBN 978-80-552-1193-0.
- (14) 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.
- (15) LEHMANN, J. – RILLIG, M. C. – THIES, J. – MASIELLO, C. A. – HOCKADAY, W. C. – CROWLEY, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. In *Soil Biol. Biochem.*, vol. 43, 2011, no. 9, pp. 1812–1836.
- (16) LOŽEK, O. 2010. Efektívnosť hnojenia Duslofertom Extra 14-10-20-7S pri pestovaní viniča hroznonodého. In *Agrochémia*, vol. XIV. (50), 2010, no. 1, pp. 17–23.
- (17) RAJKOVICH, S. – ENDERS, A. – HANLEY, K. – HYLAND, C. – ZIMMERMAN, A.R. – LEHMANN, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. In *Biol. Fertil. Soils*, vol. 48, 2012, pp. 271–284.
- (18) SACHDEVA, V. – USSAINA, N. – HUSK, B. B. R. – WHALENA, J. K. 2019. Biochar-induced soil stability influences phosphorus retention in a temperate agricultural soil. In *Geoderma*, 2019, pp. 71–75.
- (19) SOLAIMAN, Z.M. – BLACKWELL, P. – ABBOTT, L.K. – STORER, P. 2010. Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat. In *Soil Res.*, vol. 48, 2010, pp. 546–554.
- (20) SUWARA, I. – PAWLAK-ZARĘBA, K. – GOZDOWSKI, D. – PERZANOWSKA, A. 2016. Physical properties of soil after 54 years of long-term fertilization and crop rotation. In *Plant Soil Environ.*, vol. 62, 2016, pp. 389–394.
- (21) ŠIMANSKÝ, V. – HORÁK, J. – IGAZ, D. – BALASHOV, E. – JONCZAK, J. 2018. Biochar and biochar with N fertilizer as a potential tool for improving soil sorption of nutrients. In *Journal of Soils and Sediments*, vol. 18, 2018, no. 4, pp. 1432–1440.
- (22) 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.
- (23) WHITMAN, T. – SIGH, B. P. – ZIMMERMAN, A. R. 2015. Priming effects in biochars-amended soils: implications of biochar-soil organic matter interactions for carbon storage. In LEHMANN, J. – JOSEPH, S. (Eds.) *Biochar for environmental management*, Routledge. New York : Taylor and Francis Group, 2015, pp. 456–487. ISBN 978-0-415-70415-1.
- (24) XU, C.Y. – HOSSEINI-BAI, S. – HAO, Y. – RACHAPUTI, R. – WANG, H. – XU, Z. – WALLACE, H. 2015. Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. In *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 22, 2015, no. 8, pp. 6112–6125.
- (25) XU, H.J. – WANG, X.H. – LI, H. – YAO, H.Y. – SU, J.Q. – ZHU, Y.G. 2014. Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rape. In *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, 2014, pp. 9391–9399.
- (26) YUANG, J. H. – XU, R. K. 2011. The forms of alkalis in the biochars produced from crop residues at different temperatures. In *Bioresource Technology*, vol. 102, 2011, pp. 3488–3497.

doc. Ing. Vladimír Šimanský, PhD.
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov
Katedra pedológie a geológie
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra
e-mail: Vladimir.Simansky@uniag.sk

Podakovanie
Táto práca bola finančne podporená spoločnosťou
Zdroje Zeme a.s.