

## Vplyv kombinácií minerálnych a organických hnojív s biouhľikovým substrátom na pôdne vlastnosti a úrody slnečnice ročnej a zeleninovej papriky

### The effect of combinations of mineral and organic fertilizers with biochar on the soil properties and sunflower and green pepper yields

Vladimír Šimanský, Dušan Šrank, Martin Juriga

A number of studies have shown that biochar from biomass waste pyrolysis is a promising soil amendment material which has the potential to improving soil quality and thus increase crop yields. The objective of this study, therefore, was to determine whether the addition of biochar and biochar with other mineral or organic fertilizers affects soil quality and increase the crop yield in the soils with different particle-size distribution. This study was conducted in two localities (1. Dolná Streda: sandy soil, and 2. Veľké Uľany: loamy soil) with different soil texture. Biochar (B) was applied at rates; 0, 10 and 20 t.ha<sup>-1</sup>, in sandy soil in combination with urea (M) in dose of 100 kg.ha<sup>-1</sup> and in loamy soil in combination with Italtollina (organic fertilizer: OH) in dose of 850 kg.ha<sup>-1</sup>. Soil samples were taken in autumn 2018. In sandy soil, the tendency of soil organic carbon content (C<sub>org</sub>) increase was observed in all treatments, while in loamy soil in B10 and B20 the C<sub>org</sub> increased by 11 and 12 % respectively, compared to B0. In sand soil, in B20 + M, soil pH in H<sub>2</sub>O increased by 0.37 pH unit, while values of soil pH in KCl were significantly increased in B20 and B20+M treatments. Application of biochar and its combinations had significant effect on increase of soil pH in loamy soil. In sandy soil, the values of sum of basic cations in B10, B20, B10 + M and B20 + M increased by 70, 25, 30 and 73%, respectively, compared to B0. On the other hand, the differences between fertilized and unfertilized treatments in loamy soil were not significant. Between soil pH and available P significant negative correlation was observed. Higher soil pH due to biochar application decreased availability of Fe, on the other hand, it increased availability of Ca, Mg, Mn, Cu and Ni. Our results showed that C<sub>org</sub> had positive effects on increase of availability of Mg, Cu and Ni, but on the other hand, it decreased availability of P, Fe and Zn. Application of biochar at rate of 20 t.ha<sup>-1</sup> together with urea had statistically significant influence on increase of sunflower yield (by 37 %) in sandy soil. In loamy soil, the highest yield of green pepper (81.5 t.ha<sup>-1</sup>) was observed in B10+OH treatment.

Effeco 33 : 33 : 33, soil quality, fertilization, crop yield

Rýchly priemyselný rozvoj a ľudské aktivity spôsobili zhoršenie kvality a úrodnosti pôd (3), pričom zásadný vplyv má aj poľnohospodárstvo, v spojení s nadmerným spásaním lúk a odlesňovaním krajiny. Celosvetovo sa práve poľnohospodárske aktivity na degradácii pôdneho fondu podieľajú takmer z 1/3 (7) a preto sa v poslednom období zvyšuje záujem o starostlivosť o pôdny fond, obnovu jeho úrodnosti a zvýšenie kvality pôd a celkovo udržateľnosti hospodárenia na pôde. Ak chceme na pôde efektívne a zároveň ekologicky hospodáriť, musíme poznať jej vlastnosti, príčiny prípadnej nízkej úrodnosti a spôsoby, ako ich odstrániť. Len takýto prístup umožňuje racionálne využívanie pôdneho fondu a dosiahnutie vysokej efektívnosti nákladov potrebných na stabilizáciu a zvyšovanie úrodnosti a produkčnej schopnosti pôd.

V poslednom období sa práve kvôli vyššie uvedeným skutočnostiam začalo využívať biouhlie ako nástroj na zlepšovanie pôdnych vlastností a zvyšovanie úrodnosti pestovaných plodín (1, 3, 28). Biouhlie však nie je homogénny materiál s rovnakými vlastnosťami, pretože tie závisia predovšetkým od vlastností vstupnej suroviny, teploty, dĺžky, tlaku pri jeho výrobe (18), od kombinácie s inými hnojivami (11), od pôdy, do ktorej sa aplikuje, od dĺžky jeho kontaktu s pôdnymi časticami, od aplikačnej dávky (21), ale i iných. V tejto súvislosti sa mnohé aktuálne štúdie zameriavajú na modifikovanie metód, maximalizáciu účinnosti a optimalizáciu výrobného procesu biouhlia, ktoré sa bude približovať nárokom zo strany farmárov.

V tejto práci sme sa zamerali na posúdenie vplyvu biouhľikového substrátu Effeco 33 : 33 : 33 a jeho kombinácie s minerálnym a organickým hnojením v dvoch pôdach s rozdielnym zrnitostným zložením na zmeny vybraných pôdnych vlastností a úrod pestovaných plodín (slnečnica ročná a zeleninová paprika).

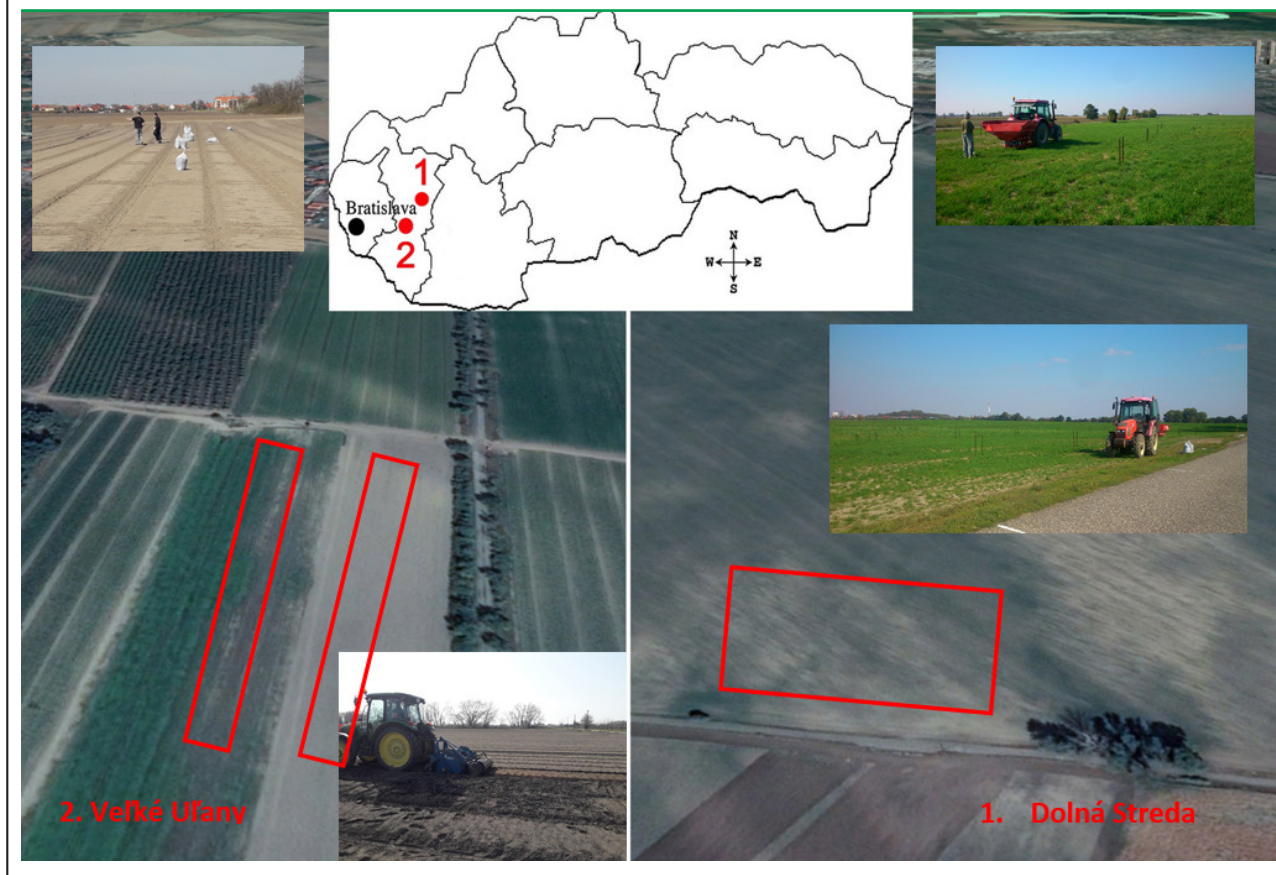
### Materiál a metodika

Experimenty boli založené v juhozápadnej časti Slovenska na lokalitách Dolná Streda a Veľké Uľany (Obrázok 1). V Dolnej Strede bol poľný experiment založený na parcele, ktorá sa využíva na pestovanie bežných tržných plodín (piesočnatá Regozem kultizemná). V čase zakladania pokusu pôda obsahovala 81,9 % piesku, 10,5 % prachu, 7,64 % ílu, 0,97 % (nízky obsah) celkového organického uhlíka (C<sub>org</sub>), 1 300 mg.kg<sup>-1</sup> N (nízky obsah), 175 mg.kg<sup>-1</sup> P (vysoký obsah), 165 mg.kg<sup>-1</sup> K (dobrý obsah) a pH bolo slabo alkalické (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 7,60). Vo Veľkých Uľanoch bol založený pokus na parcele, ktorá sa využíva na intenzívne pestovanie zeleniny. Pôda bola klasifikovaná ako černozem kultizemná s obsahom piesku 38,5 %, prachu 47,8 % a obsahom ílu 13,7 %. Pôda pred založením experimentu mala stredný obsah C<sub>org</sub> (1,56 %), nízky obsah N (966 mg.kg<sup>-1</sup>), vysokú zásobu P (129 mg.kg<sup>-1</sup>), dobrú zásobu K (255 mg.kg<sup>-1</sup>) a pH bolo slabo alkalické (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 7,78). Priemerná ročná teplota na oboch lokalitách je 9 – 10 °C a priemerný ročný úhrn zrážok sa pohybuje od 520 do 600 mm.

Pokus v Dolnej Strede bol založený na jeseň 2017. Veľkosť jedného políčka bola 810 m<sup>2</sup>. Pokus bol založený metódou dlhých dielov. Predplodinou pred založením pokusu tu bola pšenica tvrdá. Na jeseň 2017 sa do pôdy do hĺbky 0,15 m zapracovalo biouhlie diskovaním. Počas celej doby trvania pokusu sa tu bude realizovať minimalizačný systém obrábania pôdy t. j. diskovanie, resp. kyprenie do hĺbky 0,15 – 0,18 m. Na jar 2018 pred sejbou slnečnice

Obrázok 1: Lokalizácia experimentov

Figure 1: Field site location and an areal view of experimental plots



na 4. a 5. variante bola aplikovaná močovina v dávke  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Pokus vo Veľkých Uľanoch bol založený na jar 2018. Veľkosť políčka bola  $25 \text{ m}^2$  a medzi políčkami boli vynechané ochranné pásy. Pokus bol založený metódou náhodného rozloženia v dvojnásobnom opakovaní. Predplodinou bola mrkva siata a pred vysadením papriky (plodina v roku 2018) sa do pôdy (do hĺbky  $0,10 - 0,12 \text{ m}$ ) zapravilo biouhlie a granulované organické hnojivo Italpollina (v 4. a 5. variante). Pôda sa obrába konvenčným spôsobom, t. j. na jeseň sa orie do hĺbky  $0,20 \text{ m}$  a na jar následne pripraví rotačným kypričom a v závislosti od pestovanej zeleniny sa využije mechanická plečka v kombinácii s chemickým ničéním 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.

Na piesočnatej pôde (Dolná Streda) sme založili nasledovné varianty: 1. Kontrola – nehnojený variant (B0), 2. Biouhlie v dávke  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B10), 3. Biouhlie v dávke  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B20), 4. Biouhlie v dávke  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  + močovina v dávke  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B10+M), 5. Biouhlie v dávke  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  + močovina v dávke  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B20 + M). Na hlinitej pôde v lokalite Veľké Uľany sme založili varianty: 1. Kontrola – nehnojený variant (B0), 2. Biouhlie v dávke  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B10), 3. Biouhlie v dávke  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B20), 4. Biouhlie v dávke  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  + Italpollina 4-4-4 v dávke  $850 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B10 + OH), 5. Biouhlie v dávke  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  + Italpollina 4-4-4 v dávke  $850 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (B20 + OH).

Testovalo sa biouhlie označené pod obchodným názvom Effeco 33 : 33 : 33 od spoločnosti Zdroje Zeme a.s., ktorá sa zaoberá vývojom biouhličkových substrátov. Effeco 33 : 33 : 33 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. Obsah rizikových prvkov v tomto produkte neprekračuje limitné hodnoty, ktoré stanovuje vyhláška 577/2005. Effeco 33 : 33 : 33 je granulované do tvaru valca, ktorého veľkosť je cca.  $20 \times 10 \times 10 \text{ mm}$ . Vo variantoch s organickým hnojením bolo použité organické hnojivo Italpollina, ktoré je vyrobené z hydínového trusu a obsahuje: 4 % N, 4 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 4 %  $\text{K}_2\text{O}$  a jeho pH je neutrálne. Dodávané je vo forme granúl o veľkosti 3,5 mm.

Vzorky pôdy boli odobrané z oboch experimentov na jeseň 2018. Vo vzorkách boli stanovené: pôdna reakcia – aktívna (pH v  $\text{H}_2\text{O}$ ) a výmenná (pH v  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ KCl}$ ), potenciometricky, parametre pôdneho sorpčného komplexu (10), obsah organického uhlíka v pôde ( $\text{C}_{\text{org}}$ ) – oxidometricky (2). Obsahy prístupných foriem P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Ni a Zn boli stanovené po extrakcii vzoriek v roztoku Mehlich III.

Získané výsledky  $\text{C}_{\text{org}}$ , pH a úrod pestovaných plodín boli následne vyhodnotené pomocou jednofaktorovej analýzy rozptylu. Priemerné hodnoty v jednotlivých variantoch hnojenia boli posúdené LSD testom na hladine význam-

nosti 95 %. Na určenie závislosti medzi  $C_{org}$ , parametrami sorpcie, pH a prístupnosťou živín bola použitá jednoduchá korelačná analýza.

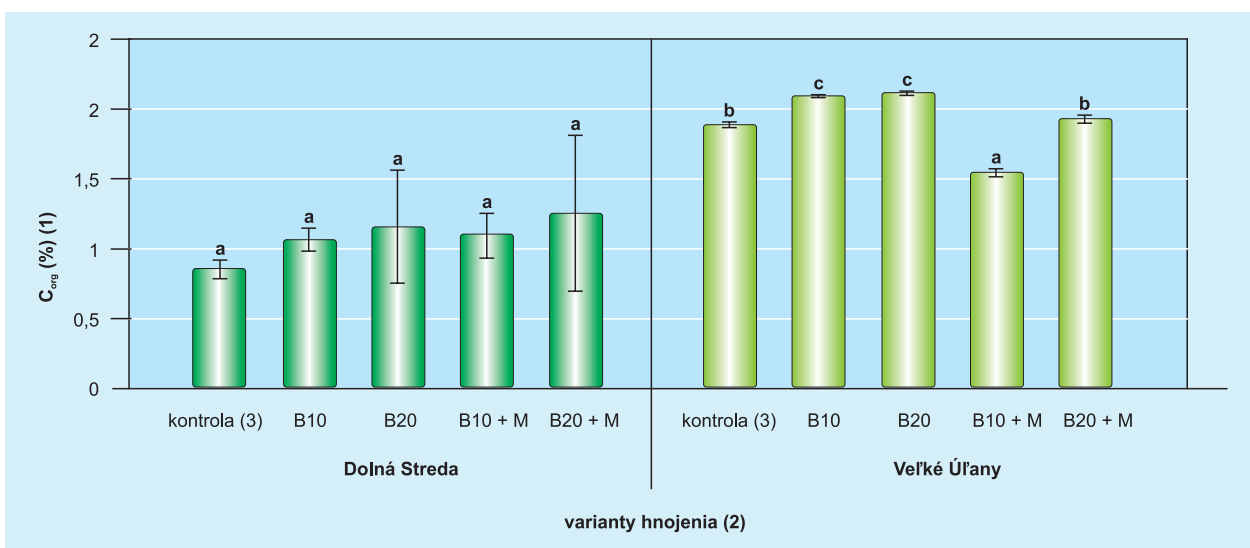
## Výsledky a diskusia

Pôdna organická hmota je dôležitý ukazovateľ úrodnosti pôd a keďže jej obsah v niektorých pôdach SR nie je uspokojivý (12) vyžaduje si značnú pozornosť zo strany farmárov. Keďže biouhlie, ktoré bolo testované v tejto štúdií či už samostatne, resp. v kombinácii s prídavným hnojením (piesočnatá pôda: + močovina; hlinitá pôda: + Italpöllina ako organické hnojivo) obsahovalo 45,4 % celkového organického uhlíka ( $C_{org}$ ), tak sme predpokladali, že aspoň aplikácia jeho vyššej dávky významne zvýši obsah  $C_{org}$  v oboch pôdnych druhoch. Biouhlie priamo zvyšuje obsah pôdnych organických látok a vďaka jeho stabilnej štruktúre je tento jeho účinok dlhodobý (4, 22). V piesočnatej pôde sme však zaznamenali iba tendenciu zvyšovania obsahov  $C_{org}$ , a to pre jeho veľký rozptyl v jednotlivých variantoch hnojenia, t. j. hodnoty  $C_{org}$  neboli štatisticky významne zmenené v dôsledku aplikácie biouhlia (Obrázok 2). Vysvetľujeme si to tým, že biouhlie vo forme granúl bolo zapracované diskovaním do piesočnatej pôdy na jeseň 2017 do hĺbky 0,12 – 0,15 m a vzorky pôdy sa odoberali z hĺbky 0,25 m. Pri odbere vzoriek (jar a jeseň 2018) boli stále v pôde (na povrchu, ale aj do hĺbky 0,15 m) pozorované málo narušené granule biouhlia. Z toho vyplýva, že jeho efekt na obsah  $C_{org}$  ešte nebol výrazný. Tammeorg et al. (24) pozoroval mierny nárast hodnôt pôdneho organického C vo vrstve 0,10 – 0,20 m a to vďaka pohybu jemnejších častíc biouhlia z vrchnej vrstvy pôdy (pôvodne zapracované do hĺbky 0,10 m) prostredníctvom pôdnej fauny, koreňov rastlín a pohybom vody. Nárast obsahu  $C_{org}$  v pôde závisí od vlastností biouhlia, ale i od pôdneho druhu (3,14, 24). Výraznejšie účinky biouhlia na zvýšenie  $C_{org}$  sú pozorované práve v piesočnatých pôdach v porovnaní s hlinitými či ílovitými (3, 14), čo nebolo potvrdené našimi výsledkami. V našom prípade, v hlinitej pôde sa obsah  $C_{org}$  štatisticky významne zvýšil o 11 a 12 % vo

variantoch, kde bolo biouhlie aplikované samostatne, a to v dávke 10 a 20 t.ha<sup>-1</sup> v porovnaní s kontrolou. Aplikácia biouhlia v dávke 20 t.ha<sup>-1</sup> s prídavným organickým hnojením nemala žiadny efekt na obsah  $C_{org}$ , kým kombinácia biouhlia v nižšej dávke s organickým hnojením obsah  $C_{org}$  štatisticky významne znížila (Obrázok 2). Dôvodom môže byť pozitívny „priming“ efekt spôsobený aplikáciou biouhlia v kombinácii s organickým hnojením. Biouhlie má vysoký merný povrch, ktorý poskytuje životný priestor pre pôdne mikroorganizmy a prídavne organické hnojenie zase pre ne poskytuje ľahko rozložiteľný substrát (4), vďaka čomu sa môže zvýšiť mikrobiálna aktivita a zintenzívnia sa mineralizačné procesy v pôde. V tomto prípade nepredpokladáme tzv. zriedovací efekt v dôsledku toho, že pôdna vzorka bola odobraná z väčšej hĺbky (0,25 m) ako sa zapracovalo biouhlie (zapracované povrchovo do hĺbky 0,05-0,08 m), pretože pokus bol teplotne a vlhkosťne regulovaný (krycia fólia + kvapková závlaha), v dôsledku čoho v pôde prebiehala intenzívna biologická aktivita. Dôkazom toho boli početné koprolity (mix pôdnych častíc s biouhlím) po dažďovkách (Obrázok 3) zanesené v hlbších častiach pôdy (do 0,20 m).

Testované biouhlie obsahuje 19,5 g.kg<sup>-1</sup> K, 22,0 g.kg<sup>-1</sup> Ca a 5,80 g.kg<sup>-1</sup> Mg, ktoré môžu reagovať s H<sup>+</sup>, čo zvyšuje pH pôd. Celkovo hodnoty aktívneho i výmenného pH v piesočnatej pôde boli nižšie v porovnaní s hlinitou pôdou. Mierny vyšší nárast v hodnotách aktívneho a výmenného pH bol zistený v piesočnatej pôde v porovnaní s hlinitou, čo môže súvisieť s počiatočným pH oboch pôd (neutrálne pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> v piesočnatej pôde a slabob alkalické pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> v hlinitej pôde v kontrolných variantoch). Výraznejší efekt biouhlia na zmeny pH býva pozorovaný na piesočnatých pôdach ako na ílovitých (30) a najmä na pôdach s kyslou reakciou (9). V piesočnatej pôde sa hodnoty aktívneho pH štatisticky významne zvýšili o 0,37 pH jednotky a to iba po aplikácii biouhlia v dávke 20 t.ha<sup>-1</sup> v kombinácii s močovinou, kým hodnoty výmenného pH boli významne zvýšené po aplikácii biouhlia v dávke 20 t.ha<sup>-1</sup> a biouhlia v dávke 20 t.ha<sup>-1</sup> v kombinácii s močovinou (Obrázok 4). V hlinitej pôde

**Obrázok 2:** Efekt aplikácie biouhlia na obsah celkového organického uhlíka  
**Figure 2:** Effect of biochar application on content of soil organic carbon



(1) content of soil organic carbon, (2) treatments, (3) control

**Obrázok 3:** Efekt dážd'oviek na začleňovanie biouhlia do agregátov a pôdneho profilu (Veľké Uľany)

**Figure 3:** Effect of earthworms – (Earthworms ingest soil and biochar, mixing in their gut) in soil with applied biochar



sa aj aktívne i výmenné pH štatisticky významne zvýšilo po aplikácii oboch dávok biouhlia či už samostatne resp. s prídavným organickým hnojením. Hodnoty  $pH_{H_2O}$  sa vo variante B10, B20, B10 + OH a B20 + OH zvýšili o 0,23; 0,22; 0,26; a 0,24 pH jednotiek a hodnoty  $pHKCl$  v tých istých variantoch a poradí sa zvýšili o 0,10; 0,09; 0,13; a 0,10 pH jednotiek. V oboch pôdnych druhoch boli celkové hodnoty výmenného pH priemerne vyššie, čiže  $\Delta pH = -0,20$ , čo signalizuje, že na povrchu pôdnych častíc dominujú záporne nabité ióny. Vďaka aplikácii biouhlia, ale i jeho kombinácii s prídavným hnojením v oboch pôdach dochádzalo k znižovaniu  $\Delta pH$ . Hodnoty  $\Delta pH$  v piesočnatej pôde boli nasledovné: B0: -0,25; B10: -0,19; B20: -0,16; B10 + M: -0,25; B20 + M: -0,16; a hodnoty  $\Delta pH$  v hlinitej pôde boli: B0: -0,31; B10: -0,18; B20: -0,18; B10+M: -0,18; B20 + M: -0,17.

Yuang a Xu (29) uviedli, že biouhlie prostredníctvom nárastu pH pozitívne vplyva na nárast kationovej výmennej kapacity pôdy (KVK), t. j. vyššie pH zvyšuje elektrostatické väzby medzi pôdnymi časticami a výmennými kationmi, čím sa zvyšuje KVK (8). Významné rozdiely v parametroch sorpcie boli pozorované medzi jednotlivými pôdami (Tabuľka 1). V piesočnatej pôde, hodnoty hydrolytickej kyslosti (H) sa po aplikácii biouhlia, ale i biouhlia spolu s močovinou znížili, kým v prípade hlinitej pôdy bola situácia (okrem variantu B20 + OH) diametrálne odlišná a hodnoty H sa zvýšili. Celkovo hodnoty sumy výmenných bázičných kationov (S) v piesočnatej pôde boli výrazne nižšie v porovnaní s hlinitou pôdou, čo je spájané práve zo zrnitosťným zložením oboch pôd. Častice piesku majú nižší aktívny povrch v porovnaní s časticami prachu a v hlinitých pôdach je i vyšší obsah organickej hmoty ako v pôdach piesočnatých, čo sa odráža aj na parametroch sorpcie pôd (23). V piesočnatej pôde sa hodnoty S v B10, B20, B10 + M a B20 + M zvýšili o 70, 25, 30 a 73 % v porovnaní s B0, naopak v hlinitej pôde rozdiely medzi nehnojeným a hnojenými variantmi neboli významné (Tabuľka 1). V piesočnatej pôde a to aj napriek tomu, že tu dominovali záporne nabité častice (priemerné  $\Delta pH = -0.20$ ), ktorých množstvo sa znížilo po aplikácii biouhlia sme pozorovali významné zvýšenie hodnôt KVK v dôsledku aplikácie biouhlia, ale i biouhlia s močovinou. Vysvetľujeme si to tým, že v piesočnatej pôde sú priaznivejšie podmienky na oxidáciu biouhlia, ktoré na svojom povrchu obsahuje karboxylové skupiny (15). Karboxylové skupiny môžu mať aj

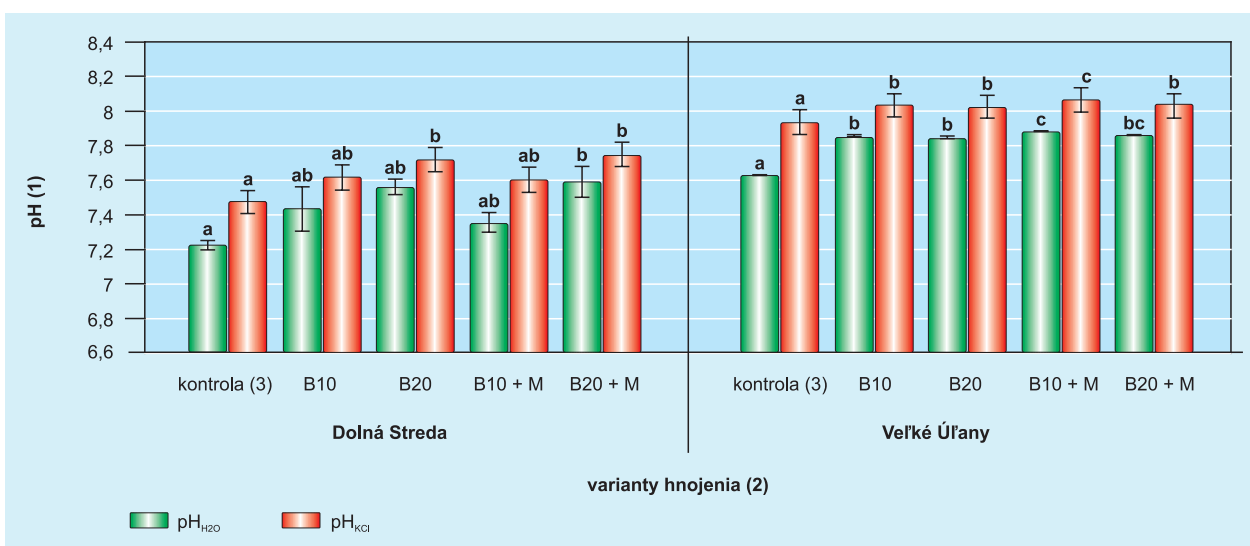
**Tabuľka 1:** Efekt aplikácie biouhlia na zmeny parametrov sorpcie pôdy

**Table 1:** Effect of biochar application on changes in soil sorption parameters

Lokalita (1) – pôdny druh (2)	Varianty hnojenia (5)	H (6)	S (7)	KVK (8)	V (9)
		mmol.kg <sup>-1</sup>			%
Dolná Streda – piesočnatá pôda (3)	B0	3,25	26,8	30	88,8
	B10	2,40	45,6	48	95,0
	B20	2,44	33,6	36	93,1
	B10 + M	3,11	34,9	38	91,9
	B20 + M	1,76	46,3	48	95,9
Veľké Uľany – hlinitá pôda (4)	B0	2,53	492,3	495	99,5
	B10	3,37	490,4	494	99,3
	B20	3,36	490,4	494	99,3
	B10 + OH	3,03	494,2	497	99,4
	B20 + OH	2,36	494,2	496	99,5

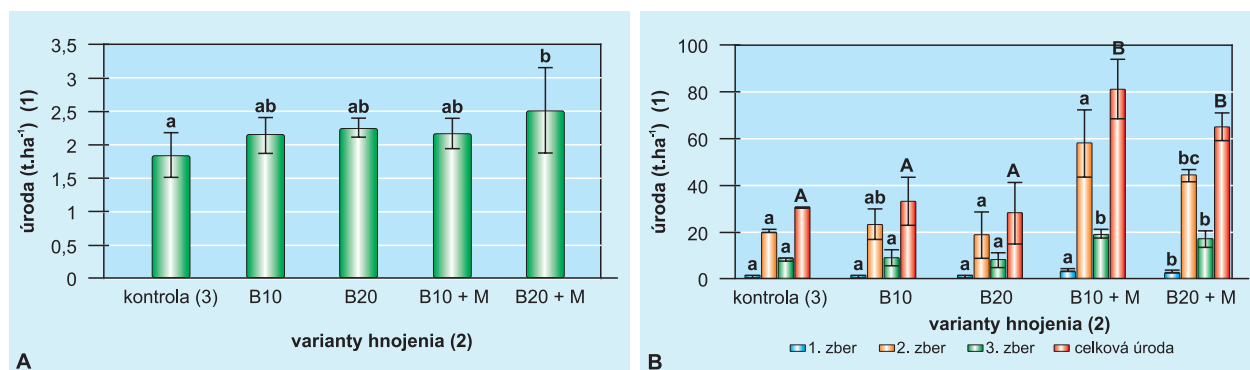
(1) location, (2) soil classes, (3) sandy soil, (4) loamy soil, (5) treatments, (6) hydrolytic acidity, (7) sum of basic cations, (8) cation exchange capacity, (9) base saturation

**Obrázok 4:** Efekt aplikácie biouhlia na zmeny aktívneho a výmenného pH  
**Figure 4:** Effect of biochar application on soil pH changes



(1) soil pH, (2) treatments, (3) control

**Obrázok 5:** Efekt aplikácie biouhlia A) na úrodu nažiek slnečnice v piesočnatej pôde, a B) na úrodu papriky v hlinitej pôde  
**Figure 5:** Effect of biochar application on A) crop of sunflower yield in sandy soil, and B) yield of pepper in loamy soil



(1) yield of crop, (2) treatments, (3) control

významný neutralizačný efekt (16), čo sa na jednej strane prejavilo na znížení H, ale tiež zvýšení S a KVK a taktiež vďaka aplikáciám biouhlia a jeho kombinácií s močovinou sa sorpčný komplex stal plne nasýteným. V hlinitej pôde výrazné rozdiely v KVK neboli pozorované. Vysvetľujeme si to tým, že častice pôdy mali záporný náboj (priemerné  $\Delta pH = -0.20$ ) a aj keď sa po pridaní biouhlia tento efekt čiastočne eliminoval, stále v tejto pôde prevládali záporne nabité častice. Navyše povrch pôdy počas celej vegetačnej sezóny pestovania papriky bol pokrytý krycou fóliou čo obmedzovalo oxidáciu aplikovaného biouhlia a aj v dôsledku toho v pôde prebiehala najmä aniónová výmena, ktorá je podstatne nižšia ako výmena kationov a môže ovplyvniť celkovo sorpciu pôdy (6). Hodnoty stupňa nasýtenia sorpčného komplexu v prípade hlinitej pôdy tým pádom zostali bez výraznejších zmien.

Prístupnosť živín je významne ovplyvnená pH pôdy (13, 26). Keďže sa pH zmenilo po pridaní biouhlia (Obrázok 4) a biouhlie ovplyvnilo i sorpciu pôd (Tabuľka 1) predpokladali sme, že sa zmení aj prístupnosť živín v oboch pôdach.

V dôsledku zvýšenia pH sa napríklad prístupnosť P môže výrazne limitovať (17), čo potvrdili aj naše výsledky, keďže sme medzi pH a prístupným P zistili negatívnu koreláciu (Tabuľka 2). Alkalické biouhlie aplikované do alkalického pôdy minimalizuje efekt na prístupnosť živín (14), najmä prístupnosť Fe, Zn, Cu a Mn (5). Zvýšené pH prostredníctvom aplikácie biouhlia znížilo prístupnosť Fe, ale na druhej strane sa zvýšila prístupnosť Ca, Mg, Mn, Cu a Ni (Tabuľka 2). Taktiež po aplikácii biouhlia sa do pôdy dostáva organická hmota, ktorá zvyšuje obsah  $C_{org}$  v pôde (Obrázok 2), čo môže ovplyvňovať prístupnosť napr. Ca, Fe a Al (27). Naše výsledky poukázali na pozitívny efekt  $C_{org}$  na zvýšenie prístupnosti Mg, Cu a Ni, ale na druhej strane na zníženie prístupnosti P, Fe a Zn. Novak et al. (16), uviedol, že zvýšením KVK pôdy sa zároveň zvyšuje adsorpcia živín, čiže ich prístupnosť je nižšia. Naše výsledky poukázali na negatívnu korelačnú závislosť medzi KVK a P, Fe a Zn, ale na druhej strane hodnoty KVK pozitívne korelovali s prístupným obsahom Ca, Mg, Cu a Ni (Tabuľka 2). V piesočnatej pôde bola sorpcia po pridaní

**Tabuľka 2:** Korelačné koeficienty medzi  $C_{org}$ , parametrami sorpcie, pH a obsahmi prístupných makro a mikroelementov  
**Table 2:** Correlation coefficients between  $C_{org}$ , soil sorption parameters, soil pH and contents of available macro and microelements

	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
H	0,001	-0,392	-0,094	0,234	-0,115	0,074	0,317	-0,175	0,069
S	-0,914***	-0,309	0,648*	0,814**	-0,932***	0,583	0,955***	-0,725*	0,816**
KVK	-0,914***	-0,310	0,647*	0,814**	-0,931***	0,583	0,955***	-0,725*	0,815**
V	-0,957***	-0,061	0,682*	0,776**	-0,935***	0,660*	0,867**	-0,596	0,894***
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	-0,926***	0,072	0,660*	0,874**	-0,898***	0,816**	0,887***	-0,523	0,851**
pHKCl	-0,949***	-0,032	0,699*	0,868**	-0,934***	0,773**	0,930***	-0,607	0,878***
$C_{org}$	-0,892***	-0,201	0,575	0,726*	-0,903***	0,588	0,882***	-0,653*	0,705*

**Tabuľka 3:** Efekt aplikovaného biouhľia na zmeny prístupných makro a mikroelementov  
**Table 3:** Effect of biochar application on changes in available macro and microelements

Lokalita (1) – pôdny druh (2)	Varianty hnojenia (5)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
		mg.kg <sup>-1</sup>								
Dolná Streda – piesočnatá pôda (3)	B0	369	131	6027	221	431	55	2,0	8,7	1,1
	B10	265	187	4617	289	290	63	3,9	12,4	1,8
	B20	271	345	4875	344	303	82	4,8	14,9	1,6
	B10 + M	393	158	6364	218	454	64	1,8	10,5	1,4
	B20 + M	259	257	9991	225	353	68	1,7	7,8	1,5
Veľké Uľany – hlinitá pôda (4)	B0	138	170	8886	330	131	70	8,3	6,7	2,0
	B10	143	172	8005	410	135	83	9,6	7,6	1,9
	B20	130	201	8384	352	119	74	8,9	6,9	1,9
	B10 + OH	138	215	10204	425	147	84	9,5	7,4	2,4
	B20 + OH	114	126	8587	383	127	74	8,9	6,3	1,9

(1) location, (2) soil classes, (3) sandy soil, (4) loamy soil, (5) treatments

biouhľia zvýšená (Tabuľka 1), ale prístupnosť P, Ca, Fe, ktorých obsah bol veľmi vysoký, dobrý a veľmi vysoký bola znížená vo variantoch B10 a B20 (Tabuľka 3). Obsah prístupného K bol vyhovujúci v kontrole a v dôsledku aplikácie biouhľia v dávke 10 t.ha<sup>-1</sup> a biouhľia v rovnakej dávke, ale s močovinou sa jeho zásoba zvýšila na dobrú. Na vysoký obsah sa K zvýšil vo variante s vyššou dávkou či už aplikovanou samostatne, resp. v kombinácii s močovinou. Obsah Mg bol vysoký, ale po aplikácii 20 t biouhľia ha<sup>-1</sup> sa zvýšil na veľmi vysoký. Obsah Mn bol vysoký vo všetkých variantoch, ale v dôsledku hnojenia sa v porovnaní s kontrolou zvýšil o 15, 49, 16 a 24 % v B10, B20, B10 + M a B20 + M. V B10 a B20 sa obsah Cu zvýšil z dobrej zásoby v kontrolnom variantne na vysokú zásobu, kým v prípade oboch dávok biouhľia s močovinou jej prístupnosť nebola zmenená. Hodnoty Zn sa z vysokej zásoby zvýšili na veľmi vysokú. Viac ako o 50 % sa zvýšil prístupný Ni po aplikácii 10, ale i 20 t biouhľia ha<sup>-1</sup>. V hlinitej pôde bol obsah prístupného P vysoký a biouhlie jeho prístupnosť významne neovplyvnilo. Zásoba K v kontrolnom variante bola vyhovujúca a najmä po aplikácii biouhľia v dávke 20 t.ha<sup>-1</sup> spolu s prídavným organickým hnojením sa jeho obsah dostal do dobrej zásoby. Hodnoty Ca vo všetkých variantoch boli veľmi vysoké. Najvýraznejšie, t. j. o 15 % sa zvýšili vo variante B10 + OH v porovnaní s B0. Taktiež aplikované biouhlie, ale i jeho kombinácia s organickým hnojením zvýšilo celkovú zásobu prístupného Mg (Tabuľka 3).

Podľa odhadovej správy o úrodách pestovaných plodín (keďže oficiálne výsledky zo štatistického úradu za rok 2018 ešte nie sú k dispozícii) vyplýva, že odhadovaná úroda slnečnice ročne v roku 2018 sa bude pohybovať

v rozpätí od 2,12 až 3,91 t.ha<sup>-1</sup> (19). Úrody slnečnice ročne závisia od rôznych faktorov ako sú: pôdno-klimatické podmienky, spôsob pestovania, ale i hnojenia (13). Podľa výsledkov, ktoré publikovali Van Zwieten et al. (25), ale i Zhang et al. (30) aplikácia biouhľia významne zlepšuje úrody pestovaných plodín, pričom tento efekt je výrazný najmä na menej produkčných pôdach (30). Priemerná úroda na piesočnatej pôde v našom prípade bola 1,86 t.ha<sup>-1</sup> a po aplikácii biouhľia v dávke 10 a 20 t.ha<sup>-1</sup> a v dávke 10 t.ha<sup>-1</sup> v kombinácii s močovinou sa priemerne zvýšila o 300, 410 a 340 kg.ha<sup>-1</sup> v porovnaní s nehnojenu kontrolou, avšak tento rozdiel nebol štatisticky významný z dôvodu veľkého rozptylu hodnôt. Štatisticky významný nárast úrody nažiek slnečnice však bol pozorovaný vo variante B20 + M, t. j. nárast úrody nažiek slnečnice o 37 % (Obrázok 5A). Kombinácia biouhľia v oboch dávkach spolu s močovinou zvýšila úrodu nažiek slnečnice o 2 a 12 % v porovnaní s variantmi B10 a B20. Z uvedeného je zrejme, že vyššia dávka biouhľia v kombinácii so 100 kg močoviny na hektár pôsobila výraznejšie na zvyšovanie úrody slnečnice ročne na piesočnatej pôde v roku 2018. Na hlinitej pôde bola v roku 2018 pestovaná zeleninová paprika pod závlahou a krycou fóliou a v prípade nepriaznivého počasia bola navyše prikrývaná textíliou (Obrázok 6), takže efekt klimatických podmienok na tvorbu úrody bol minimalizovaný. Priemerné úrody papriky v našich pôdno-klimatických podmienkach sa spravidla pohybujú od 17,4 do 21,3 t.ha<sup>-1</sup>, avšak závisia od množstva faktorov, ako už bolo vyššie uvedené. Napr. Slamka et al. (20) uviedli dosiahnuté úrody zeleninovej papriky pestovanej vo fóliovníku pri rôznej intenzite hnojenia na lokalite Báb od 54,2 do 60,0 t.ha<sup>-1</sup>, na lokalite Kolíňany od 12,5 do 62,2 t.ha<sup>-1</sup>,

**Obrázok 6:** Spôsob pestovania papriky v roku 2018 (Veľké Uľany)  
**Figure 6:** The method of growing peppers in 2018 (Veľké Uľany)



a v poľných podmienkach na lokalite Kráľová nad Váhom od 18,6 do 20,9 t.ha<sup>-1</sup>. V našom prípade aplikácia biouhlia v dávke 10 t.ha<sup>-1</sup> zvýšila celkovú úrodu zeleninovej papriky o 9 %, kým aplikácia vyššej dávky biouhlia aplikovanej samostatne bez prídavného organického hnojenia znížila celkovú úrodu zeleninovej papriky o 8 % (v oboch prípadoch štatisticky nepreukazne – veľký rozptyl hodnôt). Kombinácia biouhlia v oboch dávkach spolu s organickým hnojením sa prejavila štatisticky významným zvýšením celkovej úrody zeleninovej papriky. Najvyššia úroda (81,5 t.ha<sup>-1</sup>) sa dosiahla po aplikácii biouhlia v dávke 10 t.ha<sup>-1</sup> v kombinácii s prídavným organickým hnojením, čo v porovnaní s nehnojenou kontrolou predstavovalo nárast úrody o viac ako 1,5 násobok. Aplikácia vyššej dávky biouhlia v kombinácii s organickým hnojením zvýšila úrodu zeleninovej papriky o 112 % v porovnaní s nehnojenou kontrolou. Výrazné rozdiely v úrodách boli pozorované v jednotlivých termínoch zberu. Najnižšia úroda zeleninovej papriky bola získaná z 1. zberu <3. zberu <2. zberu. Pri všetkých zberoch však najvyššie úrody boli dosiahnuté vo variantoch B10 + OH a B20 + OH (Obrázok 5B). Najvýraznejší efekt prídavného organického hnojenia bol pozorovaný vo variantoch B10 + OH a B20 + OH v 1. zbere (zvýšenie úrod o 218 % a 220 % v porovnaní s B10 a B20) a počas ďalších dvoch zberov sa postupne znižoval. Po 2. a 3. zbere v porovnaní s B10 bola úroda zeleninovej papriky väčšia o 149 % a 114 % vo variante B10 + OH a vo variante B20 + OH o 135 % a 109 % vyššia ako v B20 variante. Celková úroda zeleninovej papriky v porovnaní s variantmi s oboma dávkami biouhlia (B10 a B20) bola vyššia o 143 % vo variante B10 + OH a 131 % v dôsledku aplikácie biouhlia v dávke 10 t.ha<sup>-1</sup> v kombinácii s organickým hnojením.

## Záver

Biouhlie zmiešané s maštalným hnojom a digestátom aplikované do pôdy samostatne, resp. v kombinácii s ďalším prídavným hnojivom pôsobilo rozdielne v piesočnatej a hlinitej pôde. V piesočnatej pôde bola pozorovaná tendencia zvýšenia organického uhlíka vo všetkých variantoch hnojenia, kým v hlinitej pôde aplikácia biouhlia v oboch dávkach významne zvýšila jeho obsah. V piesočnatej pôde sa pH zvýšilo významne iba po aplikácii vyššej dávky aplikovanej samostatne, ale i v kombinácii s močovinou. Na druhej strane, v hlinitej pôde sa pH zvýšilo vo všetkých sledovaných variantoch. Sorpčná schopnosť pôdy bola významne zlepšená v prípade piesočnatej pôdy, kým v hlinitej významné zmeny pozorované neboli. Aplikované biouhlie samostatne či v kombinácii s prídavným hnojením prostredníctvom zmeny obsahu organického uhlíka, pH a sorpcie ovplyvnili i prijateľnosť živín. Oba sledované pôdne druhy mali dobrú zásobu živín a biouhlie v oboch pôdach pôsobilo ako regulátor ich prijateľnosti. Zaznamenaný bol i pozitívny efekt na zvýšenie úrod pestovaných plodín na oboch pôdnych druhoch. Výsledky prezentované v tejto práci naznačujú, že aplikácia biouhlia a jeho kombinácie s inými hnojivami môžu byť zaujímavé aj pre našich farmárov a to z hľadiska zlepšovania pôdnych vlastností a zvyšovania úrod pestovaných plodín.

## Literatúra

- (1) BEUSCH, CH. – CIERJACKS, A. – BOHM, J. – MERTENS – BISCHOFF, W.A. – FILHO, J.C.A. – KAUPENJOHANN, M. 2019. Biochar vs. clay: Comparison of their effects on nutrient retention of a tropical Arenosol. In *Geoderma*, vol. 337, 2019, pp. 524–535.
- (2) DZIADOWIEC, H. – GONET, S.S. 1999. Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. *Prace komisji*

- naukowych Warszawa : Polskiego towarzystwa gleboznazego, 1999, 65 p.
- (3) EL-NAGGARA, A. et al. 2019. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. In *Geoderma*, vol. 337, 2019, pp. 536–557.
  - (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) HANES, J. 1999. Analýza sorpčných vlastností pôdy. 1. vyd., Bratislava : Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 1999, 138 s. ISBN 80-85361-47-7.
  - (7) HARRISON, P. – PEARCE, F. 2000. Atlas of Population & Environment. Los Angeles: American Association for the Advancement of Science and University California Press, 2000, 215 p. ISBN 0-520-23081-7.
  - (8) HEITKÖTTER, J. – MARSCHNER, B. 2015. Interactive effects of biochar ageing in soils related to feedstock, pyrolysis temperature, and historic charcoal production. In *Geoderma*, 2015, pp. 56–64, 245–246.
  - (9) HORÁK, J. 2015. Testing biochar as a possible way to ameliorate slightly acidic soil at the research field located in the Danubian lowland. In *Ac. Horti. Reg.*, 2015, 18, pp. 20–24.
  - (10) HRIVŇÁKOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – BEZÁK, P. – BEZÁKOVÁ, Z. – DODOK, R. – GREČO, V. – CHLPIK, J. – KOBZA, J. – LIŠTJAK, M. – MALIŠ, J. – PÍŠ, V. – SCHLOSSEROVÁ, J. – SLÁVIK, O. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. 2011. Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. Bratislava : VUPOP, 2011, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.
  - (11) KHAN, N. – CLARK, I. – SANCHEZ-MONEDERO, M.A. – SHEA, S. – MEIER, S. – QI, F. – KOOKANA, R.S. – BOLAN, N. 2016. Physical and chemical properties of biochars co-composted with biowastes and incubated with a chicken litter compost. In *Chemosphere*, 2016, 142, pp. 14–23.
  - (12) KOBZA, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. 2017. Current state and development of land degradation processes based on soil monitoring in Slovakia. In *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 63, 2017, no. 2, pp. 74–85.
  - (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*, 2015, 135, pp. 313–320.
  - (15) LEHMANN, J. – JOSEPH, S. 2015. Biochar for environmental management. London, New York : Routledge, Taylor and Francis Group, 2015, 928 p. ISBN 978-0-415-70415-1.
  - (16) NOVAK, J. M. – BUSSCHER, W. J. – WATS, D. W. – LAIRD, D. A. – AMMENDA, M. A. – NIANDOU, M. A. S. 2009. Short-term CO<sub>2</sub> mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandiodult. In *Geoderma* [online], vol. 154, 2009, pp. 281–288.
  - (17) NURHIDAYATI, N. – MARIATI, M. 2014. Utilization of maize cob biochar and rice husk charcoal as soil amendment for improving acid soil fertility and productivity. In *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, vol. 2, 2014, no. 1, pp. 223–230.
  - (18) SHAHEEN, S.M. – NIAZI, N.K. – HASSAN, N.E. – BIBI, I. – WANG, H. – TSANG, D.C. – OK, Y.S. – BOLAN, N. – RINKLEBE, J. 2018. Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. In *Int. Mater. Rev.*, 2018, 22, pp. 1–32.
  - (19) SKALSKÝ, R. – SLIVKOVÁ, M. – KUSÝ, D. – SVIČEK, M. 2018. Odhad úrody a produkcie kukurice na zrno, cukrovej repy technickej, slnečnice ročnej a zemiakov. Správa k 20. 8. 2018, Bratislava : NPPC, VUPOP, 2018, 36 s.
  - (20) SLAMKA, P. – LOŽEK, O. – VARGA, L. – HANKOVÁ, H. 2017. Účinnosť pomaly pôsobiacich minerálnych hnojív pri pestovaní zeleninovej papriky. Nitra : SPU, 2017, 90 s. ISBN 978-80-552-1769-7.
  - (21) 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*, vol. 71, 2016, no 9, pp. 989–995.
  - (22) ŠIMANSKÝ, V. – IGAZ, D. – HORÁK, J. – ŠURDA, P. – KOLENČÍK, M. – BUCHKINA, N.P. – UZAROWICZ, L. – JURIGA, M. – ŠRANK, D. – PAUKOVÁ, Ž. 2018. Response of soil organic matter and water-stable aggregates to different biochar treatments including nitrogen fertilization. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 66, 2018, no. 4, pp. 429–436.
  - (23) ŠIMANSKÝ, V. – POLLÁKOVÁ, N. – CHLPIK, J. – KOLENČÍK, M. 2018a. Pôdoznanectvo. Nitra: SPU, 2018, 399 s. ISBN 978-80-552-1878-6.
  - (24) TAMMEORG, P. et al. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. In *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2014, 191, pp. 108–116.
  - (25) VAN ZWIETEN, L. – KIMBER, S. – MORRIS, S. – CHAN, K.Y. – DOWNIE, A. – RUST, J. – JOSEPH, S. – COWIE, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. In *Plant Soil*, 2010, 327, pp. 235–246.
  - (26) 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.
  - (27) 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.
  - (28) 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.*, 2014, 48, pp. 9391–9399.
  - (29) YUANG, J. H. – XU, R. K. 2011. The forms of alkalis in the biochars produced from crop residues at different temperatures. In *Bioresource Technology*, 2011, 102, pp. 3488–3497.
  - (30) ZHANG, R. – ZHANG, Y. – SONG, L. – SONG, X. – HANNINEN, H. – WU, J. 2017. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. In *For. Ecol. Manag.*, 2017, 391, pp. 321–329.

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



ilustračné foto