

## Pôdna reakcia a parametre sorpčného komplexu po aplikácii biouhlia a biocharu s dusíkatým hnojením

### Soil pH and sorptive parameters after additions of biochar and biochar with nitrogen

Vladimír Šimanský, Ján Horák

*Application of biochar to the soil could improve soil parameters such as: soil pH or sorptive parameters. A field experiment investigating effects of different biochar application rates combined with nitrogen fertilizer was conducted at the locality Dolná Malanta on a Haplic Luvisol in 2014. The aim of this study was to study the effects of biochar and biochar combined with fertilization on soil pH and sorptive parameters. Soil samples were collected from plots exposed to the following treatments: 1. B0N0 – no biochar, no N fertilization, 2. B10N0 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>), 3. B20N0 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>), 4. B10N40 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (40 kg·ha<sup>-1</sup> N), 5. B20N40 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (40 kg·ha<sup>-1</sup> N), 6. B10N80 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (80 kg·ha<sup>-1</sup> N), 7. B20N80 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (80 kg·ha<sup>-1</sup> N). The results showed that applied biochar to the soil increased the soil pH and improved the sorption parameters of the studied Haplic Luvisol. These effects were most intensive after application of biochar at the rate of 10 t·ha<sup>-1</sup> combined with 40 kg·ha<sup>-1</sup> of nitrogen. If the biochar was applied separately, a more favorable effects were observed at the dose of 20 t·ha<sup>-1</sup> compared to the lower dose (10 t·ha<sup>-1</sup>). Our results highlighted the fact that after the application of biochar and biochar in combination with N fertilization, the sorption complex became fully saturated.*

**biochar, nitrogen fertilization, soil pH, hydrolytic acidity, sum of basic cations, cation exchange capacity**

Počas posledného desaťročia si biouhlie najmä vďaka svojim pozitívnym účinkom zaslужuje pozornosť poľnohospodárskej praxe. Inšpirácia aplikovať biouhlie do pôdy prišla zo strednej Amazónie, kde je zmapovaných až do 350 ha umelo (človekom) vytvorených „čiernych“ pôd pochádzajúcich ešte z pred Kolumbovského obdobia známych ako tzv. *terra preta (de Indio)*, ktoré sa vyznačujú vysokou úrodnosťou. Tieto pôdy vznikli práve vďaka obrovským vstupom zuhoľnatených organických materiálov (biouhlia) a vyznačujú sa vysokým obsahom organickej hmoty a živín ako N, P a Ca (5). Aplikácia biouhlia do pôdy má agronomické výhody, ako je neutralizácia pH kyslých pôd (8, 10, 26). Jednou z najvýznamnejších vlastností biouhlia je jeho veľká povrchová plocha a prítomnosť mikropórov (9, 14). Liang et al. (12) uviedli, že po zapracovaní biouhlia do pôdy sa celkovo jej povrchová plocha zvýšila 4,8 násobne v porovnaní s pôdou, kde biouhlie nebolo zapracované. Sorpčná schopnosť biouhlia je v niektorých prípadoch vyššia ako samotnej organickej hmoty nachádzajúcej sa v pôde (3). To či bude sorpčná schopnosť biouhlia väčšia resp. menšia ovplyvňuje množstvo faktorov ako napríklad, druh organických zvyškov, ktoré podliehajú pyrolýze (18), samotná teplota spaľovania (1), či dĺžka spaľovania.

Keďže je biouhlie považované za pôdny prípravok, ktorý môže potenciálne zvýšiť pôdnu reakciu a zlepšiť sorpčnú schopnosť pôd, tak zámerom tejto práce bolo kvantifikovať zmeny pôdneho pH a parametre sorpcie po aplikácii rozdielnych dávok samostatného biouhlia a biouhlia pri rôznych úrovniach dusíkatého hnojenia.

### Materiál a metodika

V roku 2014 bol v lokalite Dolná Malanta (experimentálna bázka SPU Nitra) na hlinitej hnedozemi kultivovanej so slabou kyslou pôdnou reakciou ( $pH_{KCl} = 5,71$ ) a s nízkym obsahom celkového organického uhlíka ( $9,13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) založený pokus s biouhlím. Územie patrí do agroklimatickej oblasti veľmi teplej s priemernou ročnou teplotou vzduchu  $\geq 10$  °C a priemerným ročným úhrnom zrážok 550 mm. Počas roku 2014 bola priemerná ročná teplota 10,3 °C a ročný úhrn zrážok predstavoval 640 mm.

Experiment pozostával z nasledovných variantov: 1. B0N0 – bez hnojenia (kontrola), 2. B10N0 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup>, 3. B20N0 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup>, 4. B10N40 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> + 40 kg·ha<sup>-1</sup> N, 5. B20N40 –

**Tabuľka 1:** Základné chemické a fyzikálne vlastnosti biouhľia

**Table 1:** Basic chemical and physical properties of the biochar

pH	(KCl)	8,8
Ca	g·kg <sup>-1</sup>	57
Mg	g·kg <sup>-1</sup>	3,9
K	g·kg <sup>-1</sup>	15
Na	g·kg <sup>-1</sup>	0,7
celkový C (1)	%	53,1
celkový N (2)	%	1,4
C/N		37,9
Merný povrch (3)	m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup>	21,7
Popol (4)	%	38,3

(1) total C, (2) total N, (3) specific surface, (4) ash

biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> + 40 kg·ha<sup>-1</sup> N, 6. B10N80 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> + 80 kg·ha<sup>-1</sup> N, 7. B20N80 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> + 80 kg·ha<sup>-1</sup> N. Biouhlie bolo vyrobené pyrolýzou obilných pliev a odpadového kalu pri výrobe papiera v pomere hmoty 1:1, pri teplote 550 °C po dobu 30 minút. Základné chemické a fyzikálne parametre vyrobeného biouhľia sú uvedené v tabuľke 1. Dusík vo variantoch s N hnojením bol dodaný vo forme LAD 27.

Pôdne vzorky pre stanovenie pH, ukazovateľov sorpcie a parametrov organickej hmoty pôdy boli odobrané počas vegetačného obdobia jarného jačmeňa, ktorý sa tu v roku 2014 pestoval na všetkých variantoch pokusu. Vzorky pôdy boli odobrané z hĺbky 0–0,2 m: 19. marca, 17. apríla, 15. mája, 16. júna a 13. júla. Po ich zhomogenizovaní a vysušení sa v nich stanovili nasledovné parametre: obsah celkového organického uhlíka (SOC) (4), obsah labilného uhlíka (C<sub>L</sub>) (13), obsah rozdrobenej organickej hmoty (2) vyjadrenej ako celkový (POC) a labilný uhlík (POC<sub>L</sub>) rozdrobenej (partikulárnej) organickej hmoty, skupinové zloženie humusových látok a optické vlastnosti humusových látok (4), aktívna a výmenná pôdna reakcia a napokon parametre sorpčného komplexu (6).

**Tabuľka 2:** Hodnoty korelačných koeficientov (celkovo) medzi vybranými parametrami organickej hmoty pôdy a pH a ukazovateľmi sorpcie

**Table 2:** Correlation coefficients (overall) between selected parameters of soil organic matter and soil pH and sorptive parameters

	H (11)	S (12)	T (13)	V (14)	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	pH <sub>KCl</sub>
SOC (1)	-0,421*	0,481**	0,463**	n.s.	n.s.	0,358*
C <sub>L</sub> (2)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
HL (3)	0,478**	-0,445**	-0,417*	-0,347*	-0,414*	-0,439**
HK (4)	0,446**	-0,540***	-0,525**	-0,417*	-0,522**	-0,523**
FK (5)	0,409*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
HK : FK (6)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Q <sub>HL</sub> (7)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Q <sub>HK</sub> (8)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
POC (9)	n.s.	0,611***	0,618***	0,363*	0,351*	0,370*
POC <sub>L</sub> (10)	n.s.	0,469**	0,482**	n.s.	n.s.	n.s.

SOC – obsah organického uhlíka, C<sub>L</sub> – obsah labilného uhlíka, HL – obsah humusových látok, HK – obsah humínových kyselín, FK – obsah fulvokyselín, HK:FK – pomer humínových kyselín k fulvokyselínám, POC – celkový uhlík rozdrobenej organickej hmoty, POC<sub>L</sub> – labilný uhlík rozdrobenej organickej hmoty, H – hydrolytická kyslosť, S – suma bázických kationov, T – celková sorpčná schopnosť, V – stupeň nasýtenia sorpčného komplexu bázickými kationmi.

(1) content of organic carbon, (2) content of labile carbon, (3) content of humus substances, (4) content of humic acids, (5) contents of fulvic acids, (6) humic acids to fulvic acids ratio, (7) colour quotient of humus substances, (8) colour quotient of humic acids, (9) total carbon of particulate organic matter, (10) labile carbon of particulate organic matter, (11) hydrolytic acidity, (12) sum of basic cations, (13) cation exchange capacity, (14) base saturation, \*P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

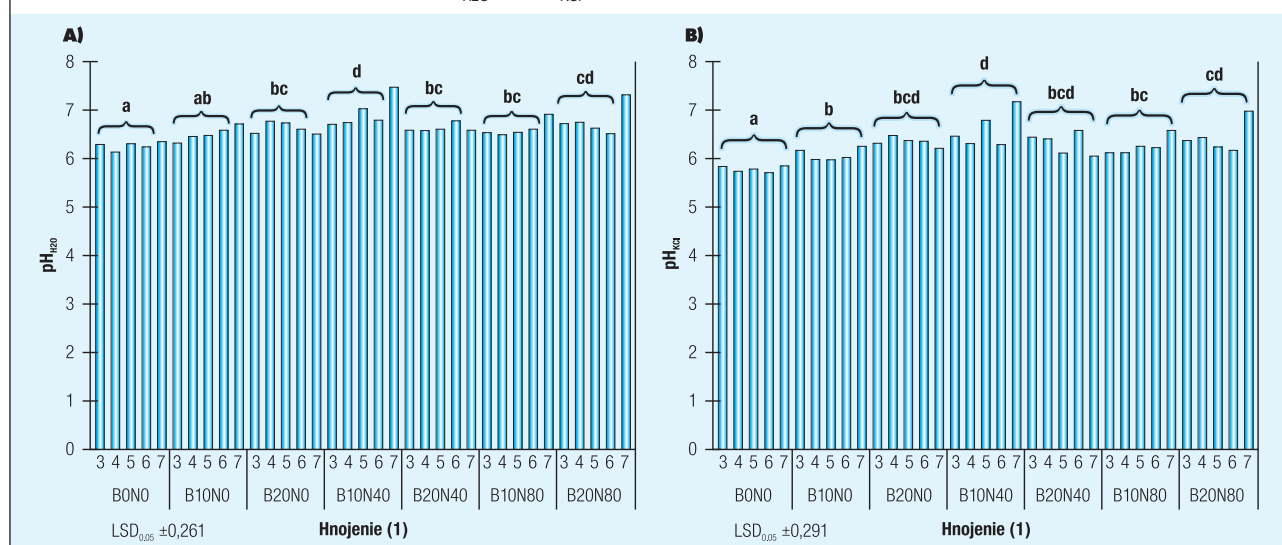
Výsledky boli vyhodnotené jednofaktorovou analýzou rozptylu. Priemerné hodnoty medzi variantmi hnojenia boli posúdené LSD testom s minimálnou hladinou významnosti P < 0,05. Na zistenie vzájomných vzťahov medzi parametrami pôdnej organickej hmoty a parametrami sorpcie pôdy bola použitá korelačná analýza.

## Výsledky a diskusia

Pôdna reakcia sa štatisticky významne zmenila po aplikácii samotného biouhľia, ale aj biouhľia s dusíkatým (N) hnojením. Hodnoty aktívneho pH sa štatisticky významne zvýšili iba po aplikácii 20 t·ha<sup>-1</sup> biouhľia, kým u dávky 10 t·ha<sup>-1</sup> bolo síce zaznamenané zvýšenie pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, avšak bez štatistickej významnosti. Celkovo najvýraznejšie zvýšenie aktívneho pH bolo zaznamenané po aplikácii biouhľia v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> spolu so 40 kg·ha<sup>-1</sup> dusíka. Hodnoty výmenného pH kopirovali hodnoty aktívneho pH, avšak iba z tým rozdielom, že hodnoty pH<sub>KCl</sub> sa štatisticky významne zvýšili ako po aplikácii oboch dávok samostatne aplikovaného biouhľia, tak i v prípadoch, keď bolo biouhlie aplikované s obomi dávkami dusíka. Ako uviedli viacerí autori (10, 11, 26), biouhlie aplikované do pôdy má rôzne agronomické benefity, pričom jedným z najvýraznejších je práve neutralizačný efekt. Horák (8) na základe svojich výsledkov uviedol, že biouhlie môže byť považované za cenný agronomický nástroj, ktorý významným spôsobom zlepšuje pôdne vlastnosti a efektívne zvyšuje pH najmä kyslých pôd. Tieto poznatky boli potvrdené aj našimi zisteniami (obr. 1 a, b).

Parametre charakterizujúce sorpčnú schopnosť pôdy v závislosti od aplikácie samotného biouhľia, ale i v kombinácii s hnojením dusíkom sú uvedené na obrázku 2 a, b, c, d. Aplikácia samotného biouhľia, ale i v kombinácii s N hnojením pôsobila významne depresívne na hodnoty hydrolytickej kyslosti (H). Získané výsledky iba potvrdzujú vyššie uvedené poznatky o neutralizačnom efekte biouhľia (8, 11, 16). Hodnoty sumy výmenných bázických kationov (S) a celkovej sorpčnej kapacity (T) sa štatisticky významne zvýšili o 49% a 38% po aplikácii 20 t·ha<sup>-1</sup> biouhľia. Naj-

**Obr. 1:** Štatistické vyhodnotenie pôdnej reakcie A) aktívnej a B) výmennej  
**Fig 1:** Statistical evaluation of soil pH A)  $pH_{H_2O}$ , B)  $pH_{KCl}$



B0N0 – bez hnojenia (kontrola), B10N0 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup>, B20N0 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup>, B10N40 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> + 40 kg·ha<sup>-1</sup> N, B20N40 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> + 40 kg·ha<sup>-1</sup> N, B10N80 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> + 80 kg·ha<sup>-1</sup> N, B20N80 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> + 80 kg·ha<sup>-1</sup> N.

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

B0N0 – no biochar, no N fertilization, B10N0 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>), B20N0 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>), B10N40 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (40 kg·ha<sup>-1</sup> N), B20N40 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (40 kg·ha<sup>-1</sup> N), B10N80 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (80 kg·ha<sup>-1</sup> N), B20N80 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (80 kg·ha<sup>-1</sup> N)

Different letters between columns (a, b, c, d) indicate that treatment means are significantly different at P < 0.05 according to LSD multiple-range test.

(1) fertilization

výraznejšie sa hodnoty S a T zvýšili vo variantoch B10N40 a B10N80. Z uvedeného vyplýva, že nižšia dávka biouhlia v kombinácii s dusíkom v dávke 40 a 80 kg·ha<sup>-1</sup> mala priaznivejší efekt na hodnoty S a T ako vyššia dávka, či už samostatne aplikovaného biouhlia, resp. v kombinácii s N hnojením. Neff et al. (15), ale i Šimanský a Tobiašová (20) uviedli, že hnojenie vo všeobecnosti môže spôsobovať zmenu pH, čo sa následne odráža aj na parametroch sorpcie pôdy (25). Vo variante B0N0 bol sorpčný komplex (V) nasýtený, avšak po aplikácii samotného biouhlia a biouhlia v kombinácii s N hnojením sa sorpčný komplex stal plne nasýteným. V popole biouhlia ako to uviedol Rajkovich et al. (17) sa nachádzajú živiny vrátane základných kationov ako Ca a Mg, čo spôsobilo jeho priaznivé pôsobenie aj na hodnoty stupňa nasýtenia sorpčného komplexu základnými kationmi (obr. 2 d).

Ako sa správa resp. ako ovplyvňuje samostatne aplikované biouhlie, ale i v kombinácii s N hnojením v rovnakých dávkach parametre organickej hmoty v pôde v tomto experimente už bolo publikované (7, 21, 22, 24) a tak sme v tejto štúdií iba vyhodnotili korelačné koeficienty medzi parametrami organickej hmoty pôdy a pH a sorpčnou schopnosťou (tabuľka 2). Celkovo medzi obsahom celkového organického uhlíka (SOC) a S, ale i T boli zistené pozitívne korelačné závislosti a naopak negatívne medzi SOC a H. Szombathová (19) uviedla, že pôdy s vyšším obsahom organickej hmoty majú aj vyššiu sorpčnú schopnosť a keďže po aplikácii biouhlia do pôdy bolo pozorované významné zvýšenie SOC (7, 21, 24) predpokladáme, že tento pozitívny efekt biouhlia voči sorpcii možno prísúdiť práve nárastu SOC v pôde. Uvedenú skutočnosť

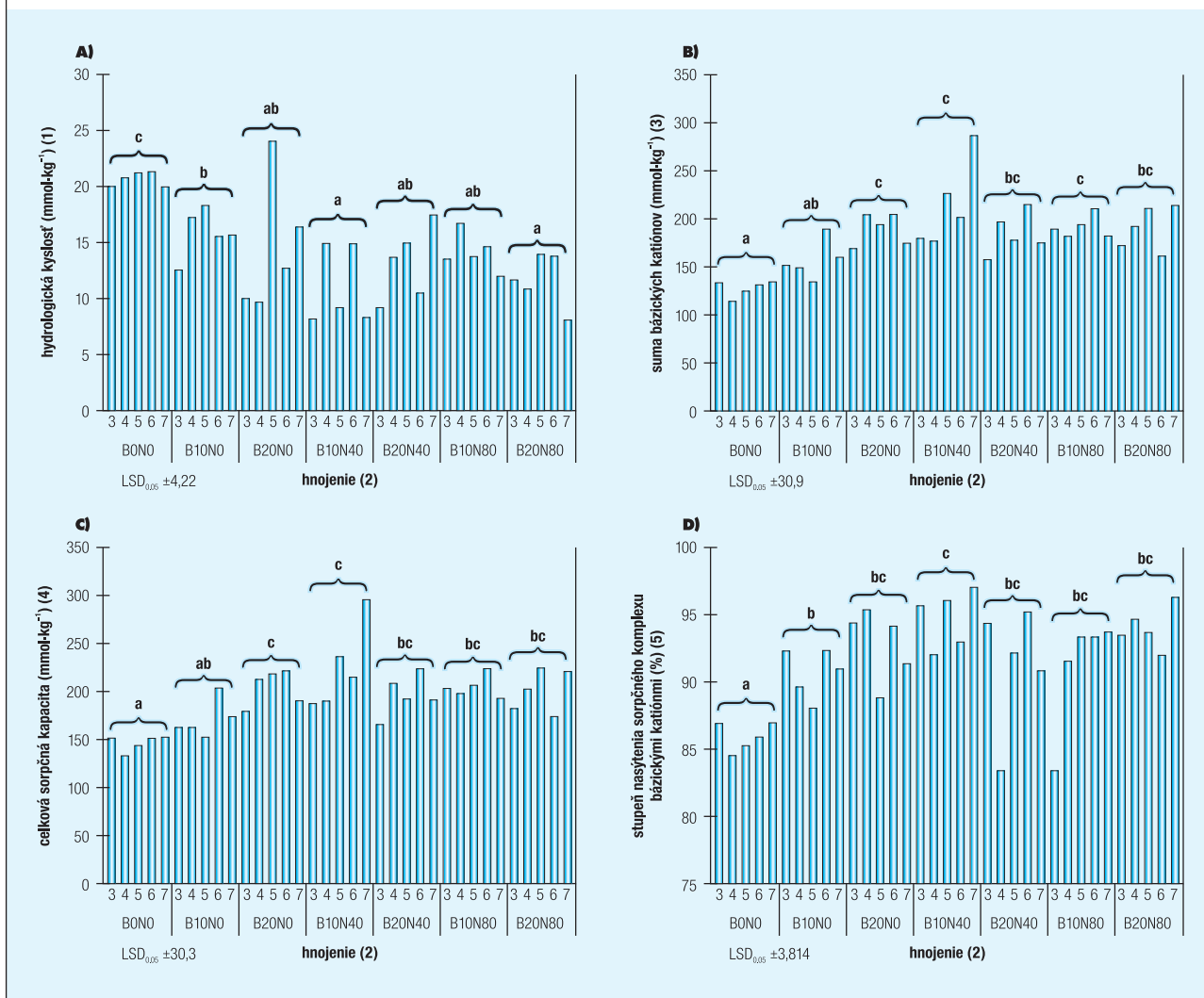
potvrďujú i pozitívne korelácie medzi rozdrobenou organickou hmotou a sumou základných kationov a celkovou sorpčnou kapacitou (POC a S, r = 0,611, P ≤ 0,001; POC a T, r = 0,618, P ≤ 0,001; POC<sub>L</sub> a S, r = 0,469, P ≤ 0,01; POC<sub>L</sub> a T, r = 0,482, P ≤ 0,01) a tieto vzťahy sú silnejšie ako vyššie uvedené medzi SOC a parametrami sorpcie v pôde (SOC a S, r = 0,481, P ≤ 0,01; SOC a T, r = 0,463, P ≤ 0,01). POC a POC<sub>L</sub> sú formy uhlíka z tzv. partikulárnej (rozdrobenej) organickej hmoty, ktorá je definovaná veľkosťou 53–2 000 μm a je tvorená rastlinným materiálom v rôznom stupni rozkladu, ktorý vlastne predstavuje aktívne frakcie uhlíka (2). Biouhlie, ktoré bolo aplikované do pôdy bolo definované veľkosťou častíc od 1–5 mm, čiže sa po aplikácii do pôdy stalo aj súčasťou tzv. partikulárnej organickej hmoty. Na druhej strane v prípade HL a HK boli zistené pozitívne korelácie s H a negatívne s S, T a V. Pozitívna korelácia bola pozorovaná iba medzi FK a H, avšak žiadny významný korelačný vzťah medzi FK a ostatnými parametrami sorpcie nebol zistený (tabuľka 2). Taktiež kvalita organickej hmoty nemala významný vplyv na parametre sorpcie. Z uvedených vzťahov je zrejme, že nie všetky komponenty organickej hmoty sa rovnako podieľajú na sorpcii pôdy, čo potvrdzuje už zistenia Šimanský a Polláková (23).

## Záver

Zvýšený obsah celkového organického uhlíka prostredníctvom dodaného biouhlia sa pozitívne prejavil na zlepšení ukazovateľov sorpcie v hnedozemi, avšak nie všetky komponenty organickej hmoty sa rovnako podieľali na

**Obr. 2:** Štatistické vyhodnotenie parametrov sorpcie: A) hydrolytická kyslosť, B) suma výmenných bázických kationov, C) celková sorpčná kapacita, D) stupeň nasýtenia sorpčného komplexu bázickými kationmi

**Fig. 2:** Statistical evaluation of soil sorptive parameters: A) hydrolytic acidity, B) sum of basic cations, C) cation exchange capacity, D) base saturation



B0N0 – bez hnojenia (kontrola), B10N0 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup>, B20N0 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup>, B10N40 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> + 40 kg·ha<sup>-1</sup> N, B20N40 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> + 40 kg·ha<sup>-1</sup> N, B10N80 – biouhlie v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> + 80 kg·ha<sup>-1</sup> N, B20N80 – biouhlie v dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> + 80 kg·ha<sup>-1</sup> N

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

B0N0 – no biochar, no N fertilization, B10N0 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>), B20N0 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>), B10N40 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (40 kg·ha<sup>-1</sup> N), B20N40 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (40 kg·ha<sup>-1</sup> N), B10N80 – biochar (10 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (80 kg·ha<sup>-1</sup> N), B20N80 – biochar (20 t·ha<sup>-1</sup>) + fertilizer (80 kg·ha<sup>-1</sup> N)

Different letters between columns (a, b, c, d) indicate that treatment means are significantly different at P < 0.05 according to LSD multiple-range test.

(1) hydrolytic acidity, (2) fertilization, (3) sum of basic cations, (4) cation exchange capacity, (5) base saturation

zlepšovaní sorpcie pôdy. Biouhlie je pôdny prídavok, ktorý významným spôsobom zvyšuje pH a zlepšuje sorpčné vlastnosti skúmanej hnedozeme. Tento efekt je najintenzívnejší po aplikácii biouhlia v dávke 10 t·ha<sup>-1</sup> v kombinácii so 40 kg·ha<sup>-1</sup> dusíka. Ak sa biouhlie aplikovalo samostatne, tak jeho priaznivejší účinok bol zistený pri dávke 20 t·ha<sup>-1</sup> v porovnaní s nižšou dávkou (10 t·ha<sup>-1</sup>). Naše výsledky poukázali na fakt, že po aplikácii samotného biouhlia a biouhlia v kombinácii s N hnojením sa sorpčný komplex stal plne nasýteným.

Biouhlie získavané pyrolýzou obilných pliev a odpadového kalu po výrobe papiera malo priaznivý vplyv na pôdnu reakciu a sorpčné vlastnosti hnedozeme, čo do značnej miery prispieva k zvyšovaniu pôdnej úrodnosti a k podpore trvalo udržateľného hospodárenia na pôde. Z hľadiska vyprodukovania dostatočnej a zdraviu nezávadnej rastlinnej produkcie je nesmierne dôležité pred jeho konečným odporúčaním a zavedením do bežnej poľnohospodárskej praxe zistiť jeho ďalšie pozitívne resp. negatívne účinky a oboznámiť s nimi farmárov a širšiu verejnosť.

## Literatúra

- (1) ANTAL, M.J. – GRONLI, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. In *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, s. 1619–1640.
- (2) CAMBARDELLA, C. A. – ELLIOT, E. T. 1992. Particulate organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. In *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 1992, s. 777–783.
- (3) CORNELISSEN, G. – GUSTAFSSON, O. – BUCHELI, T.D. – JONKER, M.T.O. – KOELMANS, A.A. – VAN NOORT, P.C.M. 2005. Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. In *Environ. Sci. Technol.*, 39, s. 6881–6895.
- (4) DZIADOWIEC, H. – GONET, S. S. 1999. Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. Prace komisji naukowych Polskiego towarzystwa gleboznaczego. Warszawa, 1999, s. 65.
- (5) GLASER, B. – BIRK, J.J. 2011. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). In *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 82, s. 39–51.
- (6) HANES, J. 1999. Analýza sorpčných vlastností pôd. Bratislava : VÚPOP, 1999. 138 s. ISBN 80–85361–47–7.
- (7) HORÁK, J. – ŠIMANSKÝ, V. 2016. Effect of biochar and biochar combined with N-fertilizer on soil organic carbon content. In *Agriculture*, v tlači.
- (8) 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.*, 18, s. 20–24.
- (9) CHINTALA, R. – SCHUMACHER, T.E. – KUMAR, S. – MALO, D.D. – RICE, J. – BLEAKLEY, B. – CHILOM, G. – PAPIERNIK, S. – JULSON, J.L. – CLAY, D.E. – GU, Z.R. 2014. Molecular characterization of biochar materials and their influence on microbiological properties of soil. In *J Hazard Mater.*, 279, s. 244–256.
- (10) JEFFERY, S. – VERHEIJEN, F.G.A. – VAN DER VELDE, M. – BASTOS, A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. In *Agr. Ecosyst. Environ.*, 144, s. 175–187.
- (11) 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, s. 1–11.
- (12) LIANG, B. – LEHMANN, J. – SOLOMON, D. – KINYANGI, J. – GROSSMAN, J. – O'NEILL, B. – SKJEMSTAD, J.O. – THIES, J. – LUIZAO, F.J. – PETERSEN, J. – NEVES, E.G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. In *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70, s. 1719–1730.
- (13) LOGINOW, W. – WISNIEWSKI, W. – GONET, S. S. – CIESCINSKA, B. 1987. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. In *Pol. J. Soil Sci.*, 20, s. 47–52.
- (14) MUKHERJEE, A. – ZIMMERMAN, A.R. – HARRIS, W. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. In *Geoderma*, 163, s. 247–255.
- (15) NEFF, J.C. – TOWNSEND, A.R. – GLEIXNER, G. et al. 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. In *Nature*, 419, s. 915–917.
- (16) PURAKAYASTHA, T.J. – KUMARI, S. – PATHAK, H. 2015. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma*, 239–240, s. 293–303.
- (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*, 48, s. 271–284.
- (18) SOUCÉMARIANADIN, L.N. – QUIDEAU, S.A. – MACKENZIE, M.D. – BERNARD, G.M. – WASYLISHEN, R.E. 2013. Laboratory charring conditions affect black carbon properties: a case study from Quebec black spruce forests. In *Org. Geochem.*, 62, s. 46–55.
- (19) SZOMBATHOVÁ, N. 2010. Chemické a fyzikálno-chemické vlastnosti humusových látok pôd ako ukazovateľ antropogénnych zmien v ekosystémoch (lokality Báb a Dolná Malanta). Nitra : SPU, 96 s. ISBN 978–80–552–0329–4.
- (20) ŠIMANSKÝ, V. – TOBIAŠOVÁ, E. 2010. Impact of tillage, fertilization and previous crop on chemical properties of Luvisol under barley farming system. In *Journal of Central European Agriculture*, 11 (3), s. 245–254.
- (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*, 71, s. 989–995.
- (22) 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*, (23)3, s. 429–435.
- (23) ŠIMANSKÝ, V. – POLLÁKOVÁ, N. 2014. Soil organic matter and sorption capacity under different soil management practices in a productive vineyard. In *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60, s. 1145–1154.
- (24) ŠIMANSKÝ, V. 2016. Effects of biochar and biochar with nitrogen on soil organic matter and soil structure in Haplic Luvisol. In *Acta fytotechnica et zootechnica*, 19, s. 129–138.
- (25) THOMAS, G.A. – DALAL, R.C. – STANDLEY, J. 2007. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. In *Soil Tillage Res.*, 94, s. 295–304.
- (26) YUAN, J.H. – XU, R.K. – WANG, N. – LI, J.Y. 2011. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. In *Pedosphere*, 21, s. 302–308.

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

## Podakovanie

Práca bola riešená v rámci projektov VEGA 1/0604/16  
a 1/0136/17 a APVV–15–0160.