

Pozberové zvyšky a ich vplyv na zmeny kvality pôdy

Post-harvest residues and their effect on soil quality changes

Vladimír Šimanský, Nora Polláková

In agroecosystems, crop residues are considered for the primary source of organic matter subject to different transformation processes in the soil. Such studies are also important for the farmers because on the base of facts they are able to regulate and influence the transformation processes of incorporated crop residues to the soils in production conditions. During 2014–2015, the effect of post-harvest residues and their combination with N fertilization on changes in soil organic matter and soil structure was evaluated. There were evaluated following treatments: 1. K as control, 2. PZ (crop residues), 3. PZ + N (crop residues + nitrogen). In PZ, content of labile carbon and hot-water soluble carbon increased by 21 and 18%, respectively compared to K. In PZ + N treatment, carbon sequestration capacity, soil organic carbon content (C_{org}) a content of nitrogen increased by 38%, 53% and 8% respectively compared to K treatment. The content of water-stable micro-aggregates (WSA_{mi}) was lower by 17% and 25%, respectively than K. In PZ and PZ + N, the

structure coefficient of water-stable aggregates increased by 30% and 35%, respectively compared to control. In PZ and PZ + N, the highest C_{org} and C_L in water-stable macro-aggregates (WSA_{ma}) were determined in size classes 2 mm–1 mm and >5 mm, respectively. Content of C_{org} in size classes of WSA_{ma} >5 mm (+91%), WSA_{ma} 3 mm–2 mm (+64%), WSA_{ma} 2 mm–1 mm (+177), WSA_{ma} 1 mm–0.5 mm (+36%) and WSA_{ma} 0.5 mm–0.25 mm (+82%) contributed positively to C_{org} concentration changes in soil under PZ treatment. Application of crop residues with N fertilization had similar effects because the C_{org} in size classes of WSA_{ma} >5 mm (+27%), WSA_{ma} 1 mm–0.5 mm (+13%), WSA_{ma} 0.5 mm–0.25 mm (+70%) a WSA_{mi} (+45%) contributed positively to C_{org} concentration in PZ + N treatment.

carbon sequestration, crop residues, nitrogen fertilization, soil organic matter, soil structure

Organický podiel je neoddeliteľnou súčasťou pôd, ktorý aj napriek nepatrnému zastúpeniu v porovnaní s minerálnou zložkou má rozhodujúci vplyv na vývoj pôd, na existenciu pôdnych organizmov, a preto aj na pôdnu úrodnosť. Organická hmota pôdy a humus plnia niekoľko zásadných funkcií ako: vznik a tvorba pôdy, fyzikálnu, výživovaciú, chemickú, biologickú a environmentálnu (12, 16). Ako uviedol Greenland et al. (5) optimálne fyzikálne vlastnosti a s tým súvisiace vhodné podmienky pre rast a vývoj rastlín sa vytvárajú v pôdnom prostredí, pri obsahu organickej hmoty viac ako 2 % a ktorá je dobre humifikovaná. Aj Hraško a Bedrna (6) pri definovaní parametrov najúrodnejšej pôdy poznamenali, že úrodná pôda nesmie mať nižší obsah humusu ako 2 % do hĺbky 0,3 m. Z hľadiska

množstva, sú v agroekosystémoch najväčším primárnym zdrojom organickej hmoty pozberové a koreňové zvyšky pestovaných plodín (27). Stupeň vplyvu rastlinných zvyškov na formovanie pôdnej úrodnosti závisí nielen od ich množstva, ale aj od ich chemického zloženia. Zpracovávanie pozberových zvyškov do pôdy vedie k zvyšovaniu obsahu uhlíka, dusíka, ale môžu sa meniť aj ostatné pôdne vlastnosti (10). Pravidelný prísun organických látok do pôdy má za následok zlepšovanie kvality pôd (24). Naopak, nedostatok organických hnojív a odstránenie rastlinných zvyškov zákonite vedie k poklesu obsahov organického uhlíka v pôdach a zhoršeniu fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôd (17). Pri regulácii procesov transformácie organických vstupov do pôd sa môžu využívať aj rôzne pomocné látky, substráty, aditíva a minerálne hnojivá, ktoré môžu pozitívne podporovať humifikačné procesy v pôdach (28).

Na základe vyššie uvedeného je zrejme, že aj efekt pozberových zvyškov, resp. ich kombinácia s minerálnymi hnojivami v pôde bude odlišný a tak sme predpokladali, že ak aplikujeme do pôdy pozberové zvyšky rastlín bez úpravy a s upraveným pomerom C : N, tak ich pôsobenie na obsah pôdnej organickej hmoty a jej dynamiku bude odlišné, čo sa prejaví aj na štruktúrnom stave pôdy, keďže pôdna organická hmota je považovaná za jeden z najvýznamnejších faktorov spájaný s pôdnou štruktúrou (1, 11, 16, 21). Pridaný minerálny dusík k variantom s pozberovými zvyškami bude stimulovať rozklad pozberových zvyškov, čo sa odrazí v pozitívnejších zmenách v sledovaných parametroch (2). Z tohto dôvodu, cieľom tejto práce bolo získať poznatky o vzájomnom vzťahu: rastlinné zvyšky – N hnojenie – pôda, pričom dôraz bol kladený najmä na vplyv pozberových zvyškov a pozberových zvyškov v kombinácii s N hnojením na zmeny pôdnej organickej hmoty a pôdnej štruktúry ako jedných z najvýznamnejších indikátorov kvality pôdy.

Materiál a metodika

Práca bola riešená na lokalite Nitra-Dražovce (48° 21' 6.16" N; 18° 3' 37.33"E). Územie patrí do agroklimatickej oblasti veľmi teplej s priemernou ročnou teplotou vzduchu ≥ 10 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok 550 mm. Pôda je stredne ťažká s obsahom piesku 45,3 %, prachu 38,9 % a ílu 15,8 % (podľa STN hlinitá) a má vyhovujúci obsah P, dobrý obsah K, plne nasýtený sorpčný komplex bázickými kationmi a slabo alkalické pH.

Pokus bol založený v roku 2013 pred výsadbou ostružiny černicovej (*Rubus fruticosus*, L.). Založené boli varianty:

1. Kontrola (K) – intenzívna kultivácia (na jeseň do hĺbky 0,25 m, počas vegetácie kyprenie kvôli odburiňovaniu).
2. Pozberové zvyšky (PZ) – zapracovanie pozberových zvyškov (kultivácia na jeseň do hĺbky 0,25 m spolu s každoročným zapracovaním 25 t.ha⁻¹ pozberových zvyškov kukurice a počas vegetácie kyprenie kvôli odburiňovaniu).
3. Pozberové zvyšky + dusík (PZ + N) – zapracovanie pozberových zvyškov s pridaným dusíkom (kultivácia na jeseň do hĺbky 0,25 m spolu s každoročným zapracovaním 25 t.ha⁻¹ pozberových zvyškov kukurice v kombinácii s dusíkom vo forme LAV v dávke dusíka 50 kg.ha⁻¹ a počas vegetácie kyprenie kvôli odburiňovaniu).

Pôdne vzorky sa odberali na jeseň počas rokov 2014 a 2015 zo všetkých uvedených variantov pokusu do hĺbky

0,25 m. Vzorky pôdy na zistenie parametrov pôdnej štruktúry sa odobrali rýľom a to tak, aby sa čo najmenej poškodili prirodzene vytvorené agregáty. Následne boli vysušené pri laboratórnej teplote. Vysušená zemina sa preosiala cez sadu síť, ktoré ich rozdelili do siedmich veľkostných tried, ktoré sa následne použili na stanovenie zastúpenia vodeodolných agregátov (WSA) Bakšajovou metódou. Zo získaného veľkostného zastúpenia WSA sa vypočítal koeficient štruktúrnosti vodeodolných agregátov (K_{wsa}) podľa rovnice 1:

$$K_{wsa} = \frac{A}{B} \quad (1)$$

kde:

- K_{wsa} – koeficient štruktúrnosti vodeodolných agregátov
 A – hmotnosť vodeodolných agregátov veľkostných tried od 0,25 do 5 mm
 B – hmotnosť súčtu vodeodolných agregátov veľkostných tried <0,25 mm a >5 mm

Vo vysušených a cez sito s otvormi <0,25 mm preosiatymi vzorkami pôdy boli stanovené parametre pôdnej organickej hmoty, a to obsah celkového organického uhlíka (C_{org}) (4), obsah labilného uhlíka (C_L) (9), obsah uhlíka rozpustného v horúcej vode (C_{HWD}) (8), obsah celkového dusíka (13). Obsah C_{org} a C_L bol stanovený aj v jednotlivých veľkostných triedach WSA. Na základe celkového obsahu organického a labilného uhlíka v pôde a ich obsahov v jednotlivých veľkostných triedach WSA boli vypočítané ich dynamiky podľa rovníc 2 a 3:

$$\text{zmeny } C_{org} \text{ v pôde (\%)} = \frac{C_{org} F_{2015} - C_{org} F_{2014}}{C_{org} 2015 - C_{org} 2014} \times 100 \quad (2)$$

kde:

- $C_{org} F_{2015}$ – obsah celkového organického uhlíka v konkrétnej frakcii WSA v roku 2015
 $C_{org} F_{2014}$ – obsah celkového organického uhlíka v konkrétnej frakcii WSA v roku 2014
 $C_{org} 2015$ – obsah celkového organického uhlíka v pôde v roku 2015
 $C_{org} 2014$ – obsah celkového organického uhlíka v pôde v roku 2014

$$\text{zmeny } C_L \text{ v pôde (\%)} = \frac{C_L F_{2015} - C_L F_{2014}}{C_L 2015 - C_L 2014} \times 100 \quad (3)$$

- $C_L F_{2015}$ – obsah labilného uhlíka v konkrétnej frakcii WSA v roku 2015
 $C_L F_{2014}$ – obsah labilného uhlíka v konkrétnej frakcii WSA v roku 2014
 $C_L 2015$ – obsah labilného uhlíka v pôde v roku 2015
 $C_L 2014$ – obsah labilného uhlíka v pôde v roku 2014

Celkové hodnoty kapacity sekvestrácie uhlíka (KSC) či už v pôde, resp. v jednotlivých veľkostných triedach WSA boli vypočítané na základe rovnice 4:

$$KSC = \frac{C_{org} - C_L}{C_L} \quad (4)$$

kde:

- C_{org} – obsah celkového organického uhlíka v pôde resp. v konkrétnej frakcii WSA
 C_L – obsah labilného uhlíka v pôde resp. v konkrétnej frakcii WSA

Výsledky a diskusia

Pôdna organická hmota

Parametre pôdnej organickej hmoty v závislosti od aplikácie pozberových zvyškov, resp. ich kombinácia s N hnojením boli odlišné v jednotlivých rokoch (tabuľka 1). Transformačné procesy rozkladu zapravených organických zvyškov do pôdy závisia od množstva faktorov ako sú: podmienky prostredia vrátane pH, vlhkosti, prevzdušnenia, teploty, mikrobiálnej aktivity pôdy a kvality rozkladajúcich sa zvyškov, t. j. ich fyzikálny stav, chemické vlastnosti, pomer C : N, zastúpenie ľahko a ťažko rozložiteľných látok (27). Priemerné hodnoty sledovaných parametrov poukázali na fakt, že v PZ variante sa celkový obsah labilného uhlíka v pôde a obsah horúcou vodou extrahovaného uhlíka zvýšil o 21 % a o 18 % a taktiež sa rozšíril pomer C : N z 12,9 na 18,5. Vo variante PZ + N sa výraznejšie ako v prípade variantu PZ v porovnaní s kontrolou, zvýšila celková kapacita sekvestrácie pôdy o 38 %, obsah celkového organického uhlíka v pôde o 53 % a obsah celkového dusíka o 8 % (tabuľka 1). Aplikácia pozberových zvyškov vedie k nárastu celkového organického uhlíka (24), ale i celkového dusíka (10) v pôdach. Taktiež k regulácii transformačných procesov po zapracovaní pozberových zvyškov prispievajú aj kombinácie s minerálnymi hnojivami (28), čo sa v konečnom dôsledku prejavuje na kvalite pôdy ako to vyplýva i z našich zistení (tabuľka 1).

Pôdna štruktúra

Agregácia je významne ovplyvnená aj spôsobom využívania a hospodárenia na pôde (1, 16, 20, 21, 26), čo potvrdzujú aj naše výsledky (tabuľka 2, obrázok 1). Zastúpenie jednotlivých veľkostných tried vodeodolných agregátov (WSA) je podmienené ročníkom, keďže z externých faktorov, klíma a v rámci nej, najmä cykly zvlhčovania a vysušania, resp. zamrzania a rozmrzania pôdy zohrávajú dôležitú úlohu v tvorbe a stabilizácii pôdnych agregátov (26). Z priemerných hodnôt jednotlivých veľkostných tried WSA (tabuľka 2) je evidentné, že obsah vodeodolných mikroagregátov (WSA_{mi}) bol o 17 % a 25 % nižší vo variantoch s pozberovými zvyškami (PZ) a pozberovými zvyškami a pridaným dusíkom (PZ + N) v porovnaní s kontrolou (K). Taktiež aj priemerné hodnoty obsahov agronomicky cenných vodeodolných makroagregátov (3 mm – 0,5 mm) boli najvyššie vo variante PZ (43,6 %) a na druhej strane najnižšie v kontrole (37,7 %). Hodnoty koeficientu štruktúrnosti vodeodolných agregátov (K_{wsa}) boli najnižšie práve v kontrolnom variante (obrázok 1), ktorý bol intenzívne obrábaný bez aplikácie či už organickej hmoty, priemyselných hnojív, resp. ich kombinácií. Vo variantoch PZ, ale i PZ + N sa priemerné hodnoty K_{wsa} významne zvýšili o 30 % a 35 % v porovnaní s K variantom. Tieto výsledky potvrdzujú skutočnosť, že intenzívne obrábanie pôdy prostredníctvom mechanického účinku, resp. vďaka zintenzívneniu procesu mineralizácie pôdnej organickej hmoty má vplyv na zhoršovanie štruktúrneho stavu pôd (15). Na druhej strane, zapracovaním organickej hmoty

Tabuľka 1: Parametre pôdnej organickej hmoty

Table 1: Soil organic matter parameters

Rok (6)	KSC (1)		C_{org} (2)		C_L (3)		C_{HWD} (4)		N_t (5)		C : N	
	g.kg ⁻¹											
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
K (7)	5,96	6,71	10,3	12,8	1,49	1,91	0,30	0,37	0,69	1,18	14,9	10,9
PZ (8)	7,63	6,30	18,7	14,3	2,17	1,96	0,36	0,43	0,77	1,13	24,4	12,6
PZ + N (9)	7,37	10,1	14,9	20,5	2,02	1,86	0,35	0,36	0,91	1,09	16,3	18,8
	priemer (10)	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %
K	6,34	100	11,6	100	1,70	100	0,33	100	0,93	100	12,9	100
PZ	6,97	110	16,5	144	2,06	121	0,39	118	0,95	102	18,5	143
PZ + N	8,74	138	17,7	153	1,94	114	0,35	106	1,00	108	17,6	136

KSC – kapacita sekvestrácie uhlíka, C_{org} – obsah organického uhlíka, C_L – obsah labilného uhlíka, C_{HWD} – obsah uhlíka rozpustného v horúcej vode, N_t – obsah dusíka

(1) carbon sequestration capacity, (2) content of organic carbon, (3) content of labile carbon, (4) content of hot-water soluble carbon, (5) content of nitrogen, (6) year, (7) control treatment, (8) crop residues, (9) crop residues + nitrogen, (10) average

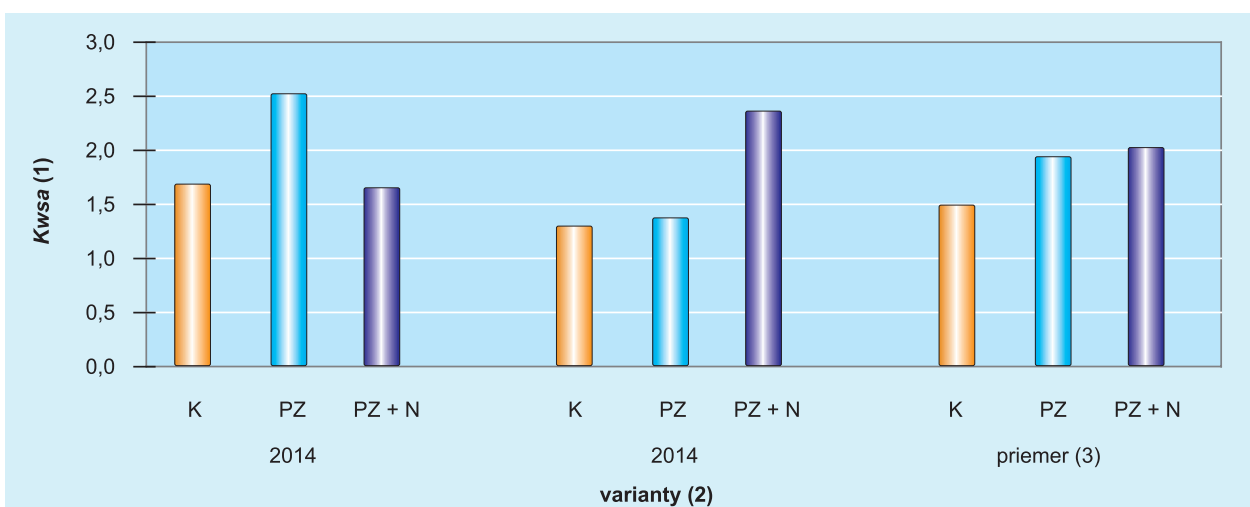
Tabuľka 2: Obsah jednotlivých veľkostných tried vodeodolných agregátov

Table 2: Content of size classes of water-stable aggregates

Rok (2)	Veľkostné triedy vodeodolných agregátov (veľkosť v mm) (1)													
	>5		5 – 3		3 – 2		2 – 1		1 – 0,5		0,5 – 0,25		<0,25	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
K (3)	1,70	5,15	6,30	7,82	8,90	9,12	15,2	12,8	16,7	12,8	15,6	14,5	35,6	37,9
PZ (4)	6,30	3,00	9,17	6,62	17,8	8,65	19,3	15,3	14,1	12,1	11,3	15,4	22,1	38,9
PZ + N (5)	5,57	6,43	8,60	10,7	11,2	14,4	13,2	16,4	12,8	15,4	16,5	13,5	32,2	23,2
	priemer (6)	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %
K	4,28	100	7,06	100	9,01	100	14,0	100	14,7	100	15,0	100	36,8	100
PZ	4,65	109	7,90	112	13,2	147	17,3	124	13,1	89	13,4	89	30,5	83
PZ + N	6,00	140	9,65	136	12,8	142	14,8	106	14,1	96	15,0	100	27,7	75

(1) size classes of water-stable aggregates, (2) year, (3) control treatment, (4) crop residues, (5) crop residues + nitrogen, (6) average

Obrázok 1: Hodnoty koeficientu štruktúrnosti vodeodolných agregátov
Figure 1: Values of structure coefficient of water-stable aggregates



(1) structure coefficient of water-stable aggregates, (2) treatments, (3) average

do pôdy vrátane pozberových zvyškov sa štruktúrny stav výrazne zlepšuje (3) a tento proces ako na to poukazujú naše výsledky (obrázok 1) môžu manažovať (urýchľovať/spomaľovať) priemyselné hnojivá (26, 28).

Obsahy celkového organického a labilného uhlíka v jednotlivých veľkostných triedach vodeodolných agregátov

Jedným z najvýznamnejších interných faktorov pri vytváraní, ale i stabilizácii pôdnych agregátov je pôdna organická

hmota (1, 11, 16). Zvyšovanie pôdneho organického uhlíka je spájané so zlepšovaním agregácie pôdy a preto je opodstatnené venovať obsahu uhlíka a jeho foriem náležitú pozornosť. Dynamika a prerozdelenie uhlíka a jeho foriem sa však mení v závislosti aj od vonkajších faktorov, čo dokazujú aj naše výsledky (tabuľka 3). Hodnoty celkového organického uhlíka (C_{org}) a labilného uhlíka (C_L) v jednotlivých veľkostných triedach WSA boli rozdielne v oboch sledovaných rokoch (2014 – 2015) a menili sa aj v závislosti od aplikácie pozberových zvyškov, resp. ich

Tabuľka 3: Obsahy celkového organického a labilného uhlíka v jednotlivých veľkostných triedach vodeodolných agregátov
Table 3: Contents of organic and labile carbon in individual size classes of water-stable aggregates

	Veľkostné triedy vodeodolných agregátov (veľkosť v mm) (1)													
	>5		5 – 3		3 – 2		2 – 1		1 – 0,5		0,5 – 0,25		<0,25	
	obsah celkového organického uhlíka (g.kg ⁻¹) (2)													
Rok (3)	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
K (4)	19,6	23,8	19,6	17,7	16,7	15,7	18,2	15,9	17,1	16,1	13,9	13,8	12,1	11,5
PZ (5)	15,8	17,8	16,9	16,3	15,9	17,3	15,4	19,3	14,5	15,3	13,4	15,2	13,3	11,9
PZ + N (6)	14,5	16,0	16,5	15,0	17,6	15,4	18,7	16,8	14,7	15,4	12,0	15,9	11,2	13,7
	priemer (7)	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %
K	21,7	100	18,7	100	16,2	100	17,1	100	16,6	100	13,9	100	11,8	100
PZ	16,8	77	16,6	89	16,6	103	17,4	102	14,9	88	14,3	103	12,6	107
PZ + N	15,3	71	15,8	85	16,5	102	17,8	104	15,1	91	14,0	101	12,5	106
	obsah labilného uhlíka (g.kg ⁻¹) (8)													
Rok	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
K	3,60	2,92	2,71	2,63	1,92	3,18	2,84	2,57	1,66	1,50	1,90	1,58	1,56	1,67
PZ	1,93	3,12	2,03	2,98	1,52	2,38	1,52	2,31	1,61	1,96	1,74	1,52	1,59	1,41
PZ + N	3,26	3,31	1,77	1,57	1,66	1,99	2,00	1,59	1,36	1,92	1,58	1,98	1,32	1,85
	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %
K	3,26	100	2,67	100	2,55	100	2,70	100	1,58	100	1,74	100	1,61	100
PZ	2,52	77	2,50	94	1,95	76	1,92	71	1,78	113	1,63	94	1,50	93
PZ + N	3,28	101	1,67	63	1,83	72	1,80	67	1,64	104	1,78	102	1,58	98

(1) size classes of water-stable aggregates, (2) content of organic carbon, (3) year, (4) control treatment, (5) crop residues, (6) crop residues + nitrogen, (7) average, (8) content of labile carbon

Tabuľka 4: Kapacita sekvestrácie uhlíka v jednotlivých veľkostných triedach vodeodolných agregátov (priemer 2014–2015)
Table 4: Carbon sequestration capacity in individual size classes of water-stable aggregates (average 2014–2015)

	Veľkostné triedy vodeodolných agregátov (veľkosť v mm) (1)													
	>5		5 – 3		3 – 2		2 – 1		1 – 0,5		0,5 – 0,25		<0,25	
	kapacita sekvestrácie uhlíka (2)													
	priemer (3)	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %	priemer	rel. %
K (4)	5,65	100	6,01	100	5,36	100	5,32	100	9,50	100	6,98	100	6,32	100
PZ (5)	5,66	100	5,63	94	7,50	140	8,08	152	7,36	78	7,77	111	7,42	117
PZ + N (6)	3,66	65	8,49	141	8,03	150	8,92	168	8,20	86	6,87	98	6,89	109

(1) size classes of water-stable aggregates, (2) Carbon sequestration capacity, (3) average, (4) control treatment, (5) crop residues, (6) crop residues + nitrogen

kombinácii s pridaným N hnojením. Z priemerných hodnôt vyplynulo, že vo všetkých variantoch najnižšie hodnoty C_{org} a C_L boli stanovené vo vodeodolných mikroagregátoch (WSA_{mi}) v porovnaní s vodeodolnými makroagregátmi (WSA_{ma}). Vyššia koncentrácia uhlíka je spravidla pozorovaná vo väčších makroagregátoch ako mikroagregátoch a to jednak ako dôsledok rozkladajúcich sa koreňov rastlín, ich exsudátov či mikroskopických húb vo vnútri makroagregátov, ako efekt tzv. partikulárnej organickej hmoty (20, 25), ale aj efekt zapracovaných čerstvých pozberových zvyškov (24). V K variante, najvyšší obsah C_{org} bol stanovený v najväčšej veľkostnej triede WSA_{ma} (>5 mm) a následne sa jeho obsah lineárne znižoval (obsah $C_{org} = -0,14 \cdot \text{veľkostná trieda } WSA + 2,21$; $R^2 = 0,8837$) v dôsledku znižovania sa veľkostných tried WSA . V PZ a PZ + N variantoch bol najvyšší obsah C_{org} stanovený vo WSA_{ma} veľkosti 2 mm – 1 mm, ale aj napriek tomu v PZ variante trend znižovania obsahu C_{org} od najväčšej veľkostnej triedy po najmenšiu bol lineárny (obsah $C_{org} = -0,07 \cdot \text{veľkostná trieda } WSA + 1,83$; $R^2 = 0,7143$). V PZ + N variante boli hodnoty C_{org} v jednotlivých veľkostných triedach WSA rozdielne a preto ich pokles, resp. zvyšovanie vo WSA nebolo možné vyjadriť lineárnym trendom. Celkovo najnižšie obsahy C_L boli stanovené vo WSA_{mi} , kým najvyššie vo WSA_{ma} >5 mm v PZ a PZ + N variantoch (tabuľka 3). Zapracované pozberové zvyšky obsahujú tzv. „ľahšiu“ frakciu organickej hmoty, ktorá je často krát súčasťou agregátov, pričom sa podieľa na ich tvorbe a dočasne aj ich stabilizácii (7).

Kapacita sekvestrácie uhlíka

V posledných desaťročiach sa pozornosť a nie len vedeckej komunity sústreďuje na sekvestráciu organickeho uhlíka ako nový pojem v rámci štúdia kolobehu uhlíka (18, 23). Zadržiavanie uhlíka v pôde je ovplyvnené spôsobom hospodárenia na pôde ako to dokumentujú práce mnohých autorov (14, 18). Novší pohľad na túto problematiku je prezentovaný v prácach Šimanský a Bajčan (21), resp. Šimanský a Kováčik (23), kde sa pozornosť sústreďuje na zadržiavanie uhlíka v jednotlivých veľkostných triedach WSA v dôsledku rozdielneho hospodárenia na rôznych pôdach v rámci SR. Najvyššiu kapacitu sekvestrácie uhlíka (KSC) v pôdach za obdobie rokov 2014 – 2015 (tabuľka 1) vykazovali varianty, kde sa aplikovali pozberové zvyšky spolu s N hnojením, t. j. PZ + N (8,74) > PZ (6,97) > K (6,34). Tento trend bol identický, keď sme vypočítali priemerné KSC vo WSA , t. j. PZ + N (7,29) > PZ (7,06) > K (6,45). Hodnoty KSC však boli rozdielne aj v závislosti od veľkostnej triedy WSA (tabuľka 4). V K variante, najnižšie hodnoty KSC boli vo WSA_{mi} , kým najvyššie vo WSA_{ma} 1 mm – 0,5 mm. V PZ a PZ + N variantoch, najvyššie hodnoty KSC boli vo WSA_{ma} 2 mm – 1 mm. Na hodnoty

KSC nemá vplyv iba samotný pôdny typ/druh, či klíma, spôsob hospodárenia, resp. pôdny manažment (18), ale aj zapracovávanie pozberových zvyškov a ich kombinácia s priemyselnými hnojivami (23). Naše zistenia poukazujú na to, že významný zdroj zadržiavania uhlíka v stredne ťažkej pôde po aplikácii pozberových zvyškov, resp. ich kombinácia s dusíkom sú veľkostné triedy 2 mm – 1 mm WSA_{ma} (tabuľka 4).

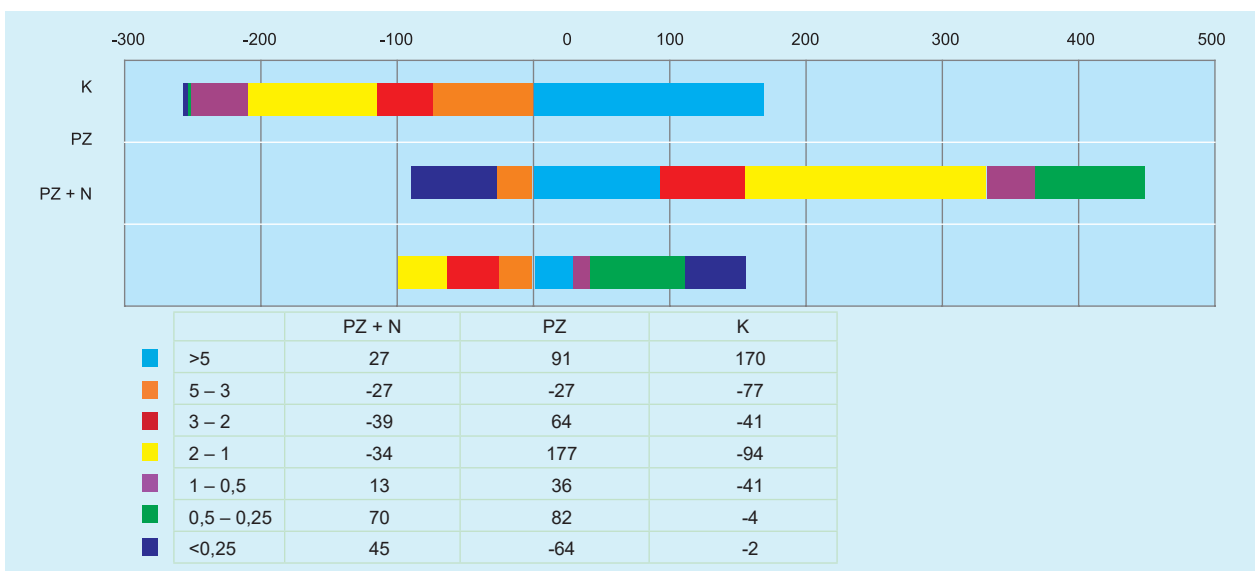
Dynamiky zmien celkového organickeho uhlíka a labilného uhlíka vo vodeodolných agregátoch

Dynamiky C_{org} a C_L v jednotlivých veľkostných triedach WSA vyjadrené k C_{org} a C_L v pôde sú uvedené na obrázkoch 2 a 3 a samotné obsahy C_{org} a C_L v pôde sú v tabuľke 1. Za sledované obdobie (2014 – 2015) v kontrolnom variante k najväčším negatívnym zmenám v poklese C_{org} došlo vo všetkých WSA , okrem WSA_{ma} >5 mm. V tejto frakcii bol dokonca zaznamenaný najvýraznejší nárast C_{org} , v porovnaní s pôdou, čo potvrdili aj výsledky stanovení (tabuľka 3). V K variante, najvyšší pokles C_{org} vo WSA bol zistený vo WSA_{ma} 2 mm – 1 mm (-94 %) a WSA_{ma} 5 mm – 3 mm (-77 %). Six et al. (20) uviedli, že k najnižším stratám C dochádza v mikroagregátoch a to z dôvodu jeho stabilizácie, a to nielen prostredníctvom väzieb z organickými časticami, ale aj ako dôsledok iných stabilizačných mechanizmov (1, 22). Aplikácia pozberových zvyškov mala pozitívny efekt na zvýšenie C_{org} vo WSA_{ma} >5 mm (+91 %), WSA_{ma} 3 mm – 2 mm (+64 %), WSA_{ma} 2 mm – 1 mm (+177 %), WSA_{ma} 1 mm – 0,5 mm (+36 %) a WSA_{ma} 0,5 mm – 0,25 mm (+82 %). Aplikácia pozberových zvyškov v kombinácii s N hnojením taktiež ako v prípade variantu PZ zvýšila dynamiku obsahu C_{org} vo WSA v porovnaní s pôdou, avšak nie tak výrazne: zvýšenie C_{org} vo WSA_{ma} >5 mm (+27 %), WSA_{ma} 1 mm – 0,5 mm (+13 %), WSA_{ma} 0,5 mm – 0,25 mm (+70 %) a WSA_{mi} (+45 %). Tieto zmeny v náraste C_{org} vo WSA sú najmä výsledkom mikrobiálnej aktivity a nárastu tzv. partikulárnej organickej hmoty pôdy vo WSA (2, 25).

V K variante, za sledované obdobie obsahy C_L vo WSA_{ma} >5 mm (-162 %), WSA_{ma} 2 mm – 1 mm (-63 %), WSA_{ma} 1 mm – 0,5 mm (-78 %) a WSA_{ma} 0,5 mm – 0,25 mm (-75 %) negatívne vplývali na obsah C_L v pôde. Pravdepodobnou príčinou môže byť tvorba dočasných väzieb medzi labilnou organickou hmotou a minerálnymi časticami, čo napomáha k znižovaniu C ako dôsledok intenzívnej kultivácie (kontrola = intenzívna kultivácia pôdy). Naopak, nárast, a to až o 297 % v obsahu C_L bol zaznamenaný vo WSA_{ma} 3 mm – 2 mm, a to ako výsledok mikrobiálneho rozkladu, tzv. hrubej vnútro agregátovej pôdnej organickej hmoty ako to podrobne popísal vo svojej štúdii Six et al. (19). Vo variantoch PZ a PZ + N boli tiež či už pozitívne

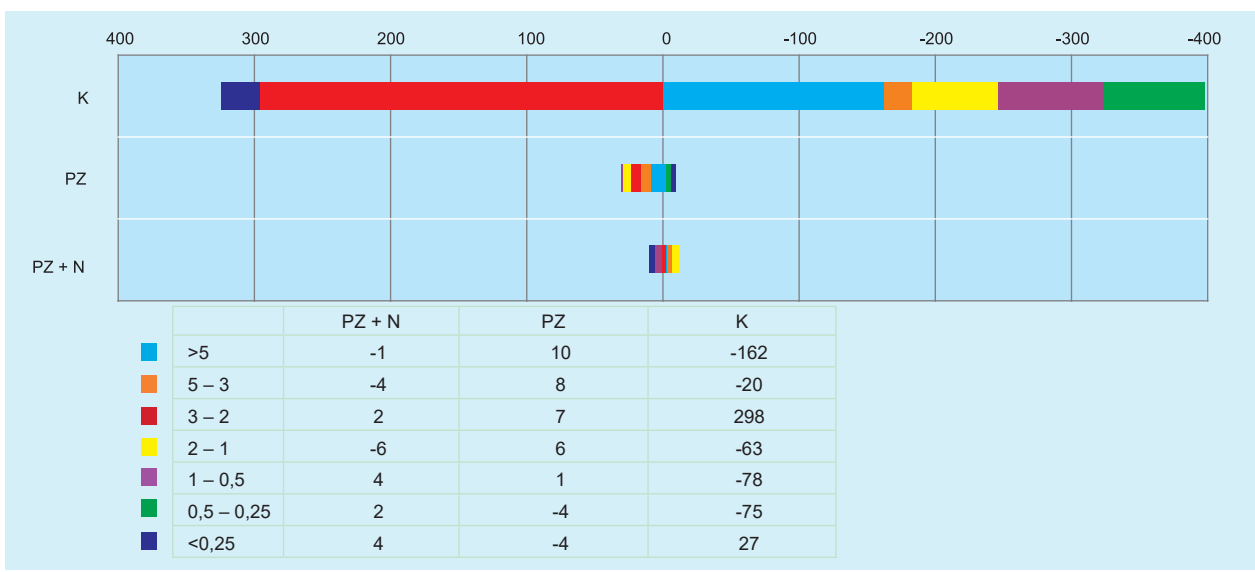
Obrázok 2: Dynamiky C_{org} vo WSA vyjadrené ako percento zmien C_{org} v pôde od 2014 do 2015

Figure 2: Dynamics of organic carbon (C_{org}) in water-stable aggregates (WSA) as a percentage change in organic carbon in soil from 2014 to 2015



Obrázok 3: Dynamiky C_L vo WSA vyjadrené ako percento zmien C_L v pôde od 2014 do 2015

Figure 3: Dynamics of labile carbon (C_L) in water-stable aggregates as a percentage change in labile carbon in soil from 2014 to 2015



alebo negatívne zmeny, ale nie tak výrazné ako v prípade K variantu (obrázok 3). Udržiavanie koncentrácie C_L v PZ variante bolo spôsobené lepším začleňovaním sa novovytvorených organických látok z hrubej frakcie pôdnej organickej hmoty do WSA_{ma} a znížením mineralizácie jemnejších frakcií C (fyzikálna ochrana), čo pozitívne vplyva na formovanie a stabilizáciu agregátov (1, 19). Prídavný N v PZ variante (PZ + N) zintenzívňoval mineralizáciu najmä vo WSA_{ma} 5 mm–1 mm, t. j. vo frakcii agronomickej cenných makroagregátov, avšak menej ako v prípade K variantu, ktorý sa iba intenzívne obrábal bez aplikácie organickej hmoty. Z uvedeného je evidentné, že spôsob hospodárenia sa významne podieľa na prerozdeľovaní

frakcií organickej hmoty (hlavne hrubej frakcie pôdnej organickej hmoty pochádzajúcej zo zapracovaných pozberových zvyškov do pôdy) vo WSA, čo má dopad na obsah a stabilitu jednotlivých veľkostných tried WSA.

Záver

Získané výsledky potvrdzujú skutočnosť, že intenzívne obrábanie pôdy prostredníctvom negatívneho efektu na parametre pôdnej organickej hmoty zhoršuje štruktúrny stav pôd. Na druhej strane, zapracovaním pozberových zvyškov sa štruktúrny stav výrazne zlepšuje a tento proces je pozitívne ovplyvňovaný prostredníctvom hnojenia

dusíkom. Naše zistenia poukazujú na to, že významný zdroj zadržiavania uhlíka v zrnitostne stredne ťažkej pôde po aplikácii pozberových zvyškov, resp. ich kombinácii s dusíkom, sú vodeodolné makroagregáty veľkostnej triedy 2 mm – 1 mm. Je evidentné, že spôsob hospodárenia sa významne podieľa na prerozdeľovaní frakcií organickej hmoty (hlavne hrubej frakcie pôdnej organickej hmoty pochádzajúcej zo zapracovaných pozberových zvyškov do pôdy) vo vodeodolných agregátoch, čo má priamy dopad na obsah a stabilitu jednotlivých veľkostných tried vodeodolných agregátov.

Literatúra

- (1) BRONICK, C. J. – LAL, R. 2005. The soil structure and land management: a review. In *Geoderma*, vol. 124, 2005, no. 1–2, pp. 3–22.
- (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, pp. 777–783.
- (3) DUIKER, S. W. – LAL, R. 1999. Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. In *Soil and Tillage Research*, 1999, pp. 21–30.
- (4) DZIADOWIEC, H. – GONET, S.S. 1999. Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. Warszawa : Prace komisji naukowych Polskiego towarzystwa gleboznawczego, 1999, p. 65.
- (5) GREENLAND, D.J. – RIMMER, D. – PAYNE, D. 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soil, using a water coherence test. In *J. Soil Sci.*, vol. 26, 1975, no. 2, spp. 294–303.
- (6) HRAŠKO, J. – BEDRNA, Z. 1988. Aplikované pôdoznalctvo. Bratislava : Príroda, 474 s.
- (7) JASTROW, J. D. 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic mater. In *Soil Biol. Biochem.*, vol. 28, 1996, pp. 665–676.
- (8) KÓRSCHNER, M. – SCHULZ, E. – BEHM, R. 1990. Heiswasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. In *Mikrobiologie*, 1990, no. 145, pp. 305–311.
- (9) 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, 1987, pp. 47–52.
- (10) NARESH, R.K. – PANWAR, A.S. – DHALIWAL, S.S. – GUPTA, R.K. – KUMAR, A. – RATHOR, R.S. – KUMAR, A. – KUMAR, D. – LAL, M. – KUMAR, S. – TYAGI, S. – KUMAR, V. – SINGH, S.P. – SINGH, V. – MAHAJAN, M.CH. 2017. Effect of Organic Inputs on Strength and Stability of Soil Aggregates Associated Organic Carbon Concentration under Rice-Wheat Rotation in Indo-Gangetic Plain Zone of India. In *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 6, 2017, no. 10, pp. 1973–2008.
- (11) NOUWAKPO, S.K. – SONG, J. – GONZALEZ, J.M. 2018. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems. In *Soil and Tillage Res.*, 2018, 178, pp. 65–71.
- (12) OLIVARES, F.L. – AGUIAR, N.O. – ROSA, R.C.C. – CANNELLAS, L.P. 2015. Substrate biofortification of combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. In *Sci. Hortic.*, 183, 2015, pp. 100–108.
- (13) PETERBURSKIJ, A. V. 1963. Praktikum po agronomičeskoj chimiji. Moskva : Izd. Seľskochozjajstvennoj literatury, žurnalov a plakatov, 1963, 591 p.
- (14) PICCOLO, A. – SPACCINI, R. – NIEDER, R. – RICHTER, J. 2004. Sequestration of a Biologically Labile Organic Carbon in Soils by Humified Organic Matter. In *Clim. Change*, 67, 2004, pp. 329–343.
- (15) PLANTE, A.F. – MCGILL, W.B. 2002. Soil aggregate dynamics and the retention of organic mater in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. In *Soil Tillage Res.*, 66, 2002, pp. 79–92.
- (16) POLLÁKOVÁ, N. – ŠIMANSKÝ, V. – KRAVKA, M. 2018. The influence of soil organic matter fractions on aggregates stabilization in agricultural and forest soils of selected Slovak and Czech hilly lands. In *Journal of Soils and Sediments*, vol. 18, 2018, no. 8, pp. 2790–2800.
- (17) RAO, C.S. – INDORIA, A.K. – SHARMA, K.L. 2017. Effective management practices for improving soil organic matter for increasing crop productivity in rainfed agroecology of India. In *Curr. Sci.*, 112, 2017, pp. 1497–1504.
- (18) SEMENOV, V. M. – IVANNIKOVA, L. A. – KUZNETSOVA, T. V. – SEMENOVA, N. A. – TULINA, A. S. 2008. Mineralization of Organic Matter and the Carbon Sequestration Capacity of Zonal Soils. In *Eurasian Soil Science*, vol. 41, 2008, no. 7, pp. 717–730.
- (19) SIX, J. – ELLIOTT E. T. – PAUSTIAN, K. 1999. Aggregate and soil organic mater dynamic under conventional and no-tillage systems. In *Soil Science society of america journal*, vol. 63, 1999, no. 5, pp. 1350–1358.
- (20) SIX, J. – BOSSUYT, H. – DEGRYZE, S. – DENEFF, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. In *Soil Till. Res.*, 79, 2004, pp. 7–31.
- (21) ŠIMANSKÝ, V. – BAJČAN, D. 2014. The stability of soil aggregates and their ability of carbon sequestration. In *Soil and Water Research*, vol. 9, 2014, no. 3, pp. 111–118.
- (22) ŠIMANSKÝ, V. – KOLENČÍK, M. – PUŠKĽOVÁ, Ľ. 2014. Effects of carbonates and bivalent cations and their relationships with soil organic matter from the view point of aggregate formation. In *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 60, 2014, no. 3, pp. 77–86.
- (23) ŠIMANSKÝ, V. – KOVÁČIK, P. 2014. Carbon sequestration and its dynamic in water-stable aggregates. In *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 60, 2014, no. 1, pp. 1–9.
- (24) ŠIMANSKÝ, V. – TOBIAŠOVÁ, E. – CHLPIK, J. 2008. Soil tillage and fertilization of Orthic Luvisol and their influence on chemical properties, soil structure stability and carbon distribution in water-stable macro-aggregates, In *Soil & Tillage Research*, vol. 100, 2008, no. 1–2, pp. 125–132.
- (25) ŠIMANSKÝ, V. 2013. Soil organic matter in water-stable aggregates under different soil management practices in a productive vineyard. In *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 59, 2013, no. 9, pp. 1207–1214.
- (26) TOBIAŠOVÁ, E. – ŠIMANSKÝ, V. 2009. Kvantifikácia pôdnych vlastností a ich vzájomných vzťahov ovplyvnených antropickou činnosťou. Vedecká monografia. Nitra : SPU, 2009. 113 s. ISBN 978-80-552-0196-2.
- (27) VÁCHALOVÁ, R. – KOLÁŘ, L. – MUCHOVÁ, Z. 2016. Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty. SPU, Nitra: 122 s. ISBN 978-80-552-1467-2.
- (28) ZAUJEC, A. – ŠIMANSKÝ, V. 2006. Vplyv biostimulátorov rozkladu rastlinných zvyškov na pôdnu štruktúru a organickú hmotu pôdy. Vedecká monografia. Nitra : SPU, 2006. 112 s. ISBN 80-8069-779-5.

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

Pod'akovanie

Táto práca bola finančne podporená projektom
KEGA 013SPU-4/2019 „Inovácia a aktualizácia
obsahu výučby predmetu Antropizácia pôdy a vytvorenie
interaktívnej vysokoškolskej učebnice v slovenskom
a v anglickom jazyku“.