

Posúdenie vplyvu pôdnej organickej hmoty a oxidov železa na agregáciu

Assessment of the soil organic matter and iron oxides impact to aggregation

Vladimír Šimanský, Jerzy Jonczak

Soil organic matter, oxides, sesquioxides and clay mineralogy play the important role in aggregate formation. Since it is of necessity to investigate the behaviours of these active agents with relation of aggregates in order to improve and maintain soil quality and productivity, we evaluated soil organic matter and iron oxides impact to aggregation in the Rendzic Leptosol (locality – Nitra–Dražovce – experiment with different soil management practices, established in 2006). There were evaluated following treatments: 1. TTP as control, 2. O (intensive cultivation of vineyard), 3. O + MH (farmyard manure – dose $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), 4. NPK3 (3rd intensity of fertilization for vineyards), and 5. NPK1 (1st intensity of fertilization for vineyards). The soil samples were taken above mentioned treatments in spring 2012. Obtained results showed that, in O + MH and in NPK1 the values of labile carbon (C_l) and hot-water soluble carbon (C_{HWD}) on average increased by $668 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and by $611 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ as well as by $53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and by $141 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively compared to TTP treatment. Contents of total

iron (Fe_t) and „free“ iron oxides (Fe_o) ranged from 19.0 to $25.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and from 4.04 to $7.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively. Contents of amorphous (Fe_a) and crystalline (Fe_c) iron oxides decreased in the following order: $\text{O} > \text{O} + \text{MH} > \text{TTP} > \text{NPK3} = \text{NPK1}$. Intensive cultivation of vineyard had negative effect on contents water-stable macro-aggregates ($\text{WSA}_{\text{ma}} > 2 \text{ mm}$). Application of NPK fertilizers significantly increased contents of $\text{WSA}_{\text{ma}} > 2 \text{ mm}$ and, on the other hand decreased content of water-stable micro-aggregates (WSA_{mi}). These effects were more intensive in NPK1 than in NPK3. Application of farmyard manure had also positive effects on increase of WSA_{ma} . Positive statistically significant correlations were observed between the C_{HK} : C_{FK} and $\text{WSA}_{\text{ma}} 2-0.25 \text{ mm}$ and WSA_{mi} . All Fe forms were negative correlated with $\text{WSA}_{\text{ma}} > 5 \text{ mm}$, however these effects were the most significant at Fe_a and Fe_c forms. Between all Fe forms and contents of $\text{WSA}_{\text{ma}} 2-0.25 \text{ mm}$ significant positive correlations were observed. All Fe forms (except Fe_o) positive correlated with content of WSA_{mi} .

farmyard manure, mineral fertilization, vineyard, soil structure, water-stable aggregates.

Agregácia pôdy je proces, pri ktorom základné častice pôdy, resp. agregáty rôznej veľkosti, sú spájané pomocou organických alebo anorganických materiálov do väčších celkov. Tento proces nezahŕňa iba samotné formovanie väčších agregátov, ale aj ich stabilizáciu. Tieto procesy prebiehajú viac-menej súčasne. V dôsledku toho je ťažké určiť, či ide o proces formovania, resp. stabilizácie agregátov. Napriek tomu Oades (13) uvádza, že formovanie agregátov je zabezpečené v dôsledku fyzikálnych síl, kým ich stabilizácia je ovplyvnená množstvom faktorov ako obsahom a kvalitou organických, resp. anorganických tmeľivých látok. Organická hmota pôdy a agregácia sú v úz-

Tabuľka 1: Štatistické vyhodnotenie parametrov pôdnej organickej hmoty a obsahov rôznych foriem oxidov železa
Table 1: Statistical evaluation of soil organic matter parameters and contents of iron oxides

Variant hnojenia (1)	C _{org} (7)	C _L (8)	C _{HWD} (9)	C _{HK} :C _{FK} (10)	Fe _t (11)	Fe _d (12)	Fe _o (13)	Fe _c (14)
	%	mg·kg ⁻¹			%			
TTP (2)	0,97a	1 410a	336a	1,41ab	2,21b	0,534ab	0,049ab	0,486ab
O (3)	1,04a	1 374a	300a	2,13b	2,59c	0,716c	0,064b	0,652b
O+MH (4)	1,27a	2 078b	389b	1,78ab	2,51c	0,628bc	0,060ab	0,592b
NPK3 (5)	1,02a	1 399a	369ab	1,26ab	2,11ab	0,431a	0,042a	0,390a
NPK1 (6)	1,24a	2 021b	477c	0,98a	1,90a	0,404a	0,042a	0,380a
LSD _{0,05}	±0,49	±564	±43	±0,74	±0,30	±0,157	±0,019	±0,173

TTP – nehnojená kontrola, O – intenzívne kultivovaný medzirád vinohradu, O+MH – zapracovaný maštalný hnoj, NPK3 – zadržovanie + dávky NPK v 3. intenzite hnojenia vinohradov, NPK1 zadržovanie + dávky NPK v 1. intenzite hnojenia vinohradov, C_{org} – obsah organického uhlíka, C_L – obsah labilného uhlíka, C_{HWD} – obsah uhlíka rozpustného v horúcej vode, C_{HK}:C_{FK} – pomer uhlíka huminových kyselín k uhlíku fulvokyselín, Fe_t – obsah celkového železa, Fe_d – obsah voľných oxidov železa, Fe_o – obsah amorfných oxidov železa, Fe_c – obsah kryštalických oxidov železa.

(1) treatment of fertilization, (2) control (3) intensive cultivation of vineyard, (4) application of farmyard manure, (5) grass + 3rd intensity of fertilization for vineyards, (6) grass + 1st intensity of fertilization for vineyards, (7) content of organic carbon, (8) content of labile carbon, (9) content of hot-water soluble carbon, (10) carbon of humic acids to carbon of fulvic acids ratio, (11) total iron content, (12) free iron oxides, (13) amorphous iron oxides, (14) crystalline iron oxides

Tabuľka 2: Hodnoty korelačných koeficientov (celkovo) medzi vybranými parametrami stability a vodoodolnosti pôdnej štruktúry a organickej hmotou pôdy

Table 2: Correlation coefficients (overall) between selected parameters of soil structure stability and vulnerability and soil organic matter

	Frakcie vodoodolných agregátov v mm (1)						
	> 5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
C _{org} (2)	0,048	0,155	0,246	0,016	0,008	-0,154	-0,206
C _L (3)	0,027	0,249	0,489	0,087	0,010	-0,237	-0,347
C _{HWD} (4)	0,360	0,367	0,297	-0,293	-0,301	-0,470	-0,491
C _{HK} :C _{FK} (5)	-0,750*	-0,561	-0,173	0,739*	0,755*	0,789**	0,729*
Fe _t (6)	-0,859**	-0,605	-0,008	0,894***	0,851**	0,835**	0,729*
Fe _d (7)	-0,909***	-0,479	-0,077	0,890***	0,892***	0,861**	0,742*
Fe _o (8)	-0,811**	-0,372	-0,002	0,811**	0,830**	0,733*	0,608
Fe _c (9)	-0,900***	-0,478	-0,080	0,879***	0,879***	0,854**	0,738*

C_{org} – obsah organického uhlíka, C_L – obsah labilného uhlíka, C_{HWD} – obsah uhlíka rozpustného v horúcej vode, C_{HK}:C_{FK} – pomer uhlíka huminových kyselín k uhlíku fulvokyselín, Fe_t – obsah celkového železa, Fe_d – obsah voľných oxidov železa, Fe_o – obsah amorfných oxidov železa, Fe_c – obsah kryštalických oxidov železa.

(1) size fractions of water-stable aggregates (2) content of organic carbon, (3) content of labile carbon, (4) content of hot-water soluble carbon, (5) carbon of humic acids to carbon of fulvic acids ratio, (6) total iron content, (7) free iron oxides, (8) amorphous iron oxides, (9) crystalline iron oxides, *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.

kom vzťahu, pretože pôdna organická hmota ovplyvňuje pôdnu štruktúru a stabilitu tým, že slúži ako tmelivo, ktoré spája minerálne častice, znižuje zrnčanosť agregátov a takýmto spôsobom ovplyvňuje ich mechanickú pevnosť (15). Podieľa sa na vzniku agregátov a stabilite štruktúry pôdy (9). Stabilita pôdnej štruktúry, rovnako ako aj vzťahy medzi organickej hmotou a agregáciou, sú ovplyvnené prítomnosťou oxidov a sekvioxidov. Organická hmota v agregáčnom procese je menej účinná, pokiaľ ich pôda obsahuje vo vyššom zastúpení (24). Ióny Al³⁺ a Fe³⁺ sa podieľajú na agregácii hlavne v kyslých pôdach s nízkym obsahom ílov a organickej hmoty (14), keďže ich mobilita sa zvyšuje s poklesom pH. Amorfné Fe a pôdna organická hmota vytvárajú stabilné agregáty v pôdach s vysokým obsahom organickej hmoty (2). Oba kationy a ich oxidy, resp. sekvioxidy, majú zásadný vplyv hlavne na mikro-agregáty, pretože významným spôsobom obmedzujú disperziu ílu a jeho napučovanie (1). Oxidy a hydroxidy Fe a Al sú však významnými tmeliacimi látkami podporujúcimi agregáciu (1, 3), pričom ich pozitívny vplyv je preukázateľnejší hlavne na mikro-agregátoch (1).

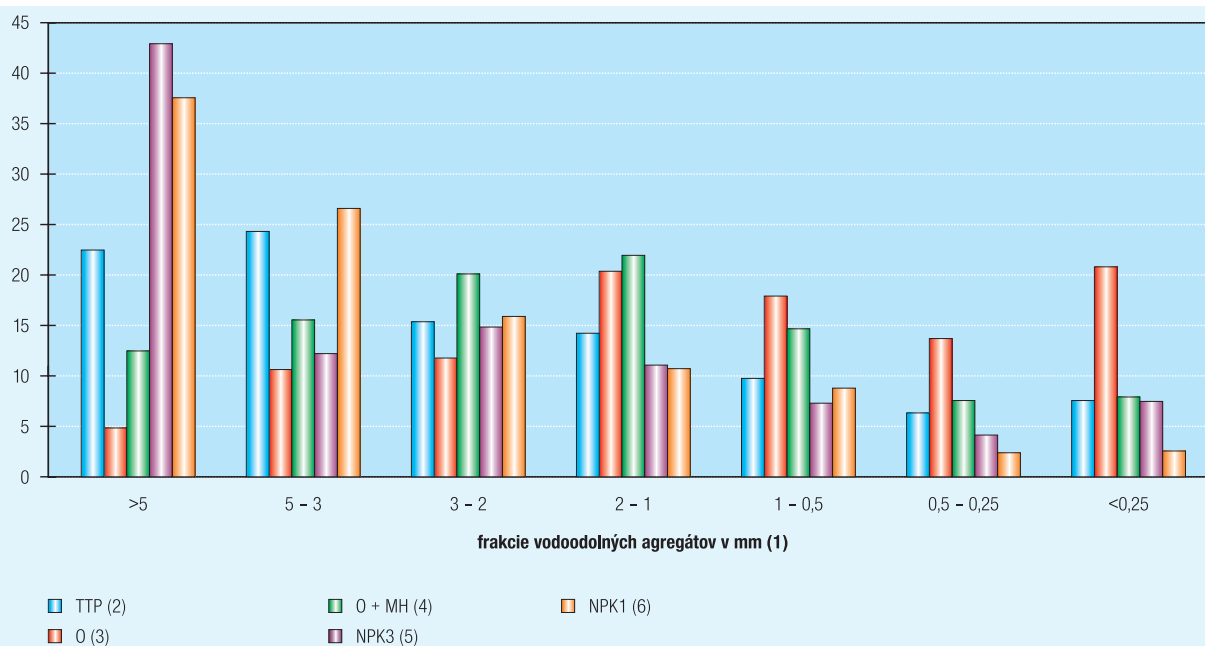
V práci bol posúdený vplyv organickej hmoty pôdy a rôznych foriem a oxidov železa na stabilitu vodoodolných

agregátov v rôznych systémoch hospodárenia v rodiaom vinohrade.

Materiál a metodika

V roku 2006 bol v Nitrianskej vinohradníckej oblasti (Nitra–Dražovce) na rendzine kultizemnej (stredne ťažká: < 0,01 mm = 27,89%) so slabo alkalickou pôdnou reakciou a so stredným obsahom humusu založený pokus s rozdielnymi spôsobmi hospodárenia. Územie patrí do agroklimatickej oblasti veľmi teplej s priemernou ročnou teplotou vzduchu ≥ 10 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok 550 mm. Pôdne vzorky pre stanovenie obsahov vodoodolných agregátov, parametrov pôdnej organickej hmoty a rôznych foriem železa boli odobrané na jar 2012 (tj. 6. rokov po založení pokusu) z dvoch hĺbok 1.) 0–0,3 m a 2.) 0,3–0,6 m z nasledovných variantov pokusu: 1). TTP – zadržovaný medzirád, nehnojený – kontrola, 2). O – intenzívne kultivovaný medzirád vinohradu, 3). O+MH – zapracovanie maštalného hnoja: maštalný hnoj v dávke 40 t·ha⁻¹, zapracovaný v medziradoch viniča pri jesennom spracovaní pôdy, prvá aplikácia uskutočnená v roku 2005, druhá v roku 2009, 4). NPK3 – zadržovaný rad a medzirád viniča, aplikované živiny, ktoré sa približovali odporúča-

Obr. 1: Obsah vodoodolných agregátov v % (priemerné hodnoty)
Fig. 1: Content of water-stable aggregates in % (average values)



TTP – nehnojená kontrola, O – intenzívne kultivovaný medzírada vinohradu, O+MH – zapracovaný maštalný hnoj, NPK3 – zatrávenie + dávky NPK v 3. intenzite hnojenia vinohradov, NPK1 zatrávenie + dávky NPK v 1. intenzite hnojenia vinohradov (1) size fractions of water-stable aggregates, (2) control (3) intensive cultivation of vineyard, (4) application of farmyard manure, (5) grass + 3rd intensity of fertilization for vineyards, (6) grass + 1st intensity of fertilization for vineyards

ným dávkam na 3. intenzitu hnojenia viniča (6), 5). NPK1 – zatrávený rad a medzírada viniča, aplikované živiny, ktoré sa približovali odporúčaným dávkam na 1. intenzitu hnojenia viniča (6). 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 sít, ktoré ich rozdelili do siedmich veľkostných frakcií. Z nich sa stanovilo zastúpenie vodoodolných agregátov Bakšajovovou metódou. 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 (5), labilného (10), horúcou vodou rozpustného uhlíka (8) a skupinové zloženie humusových látok podľa Kononovej a Belčíkovej (5). Obsah celkového železa (Fe_t) bol analyzovaný po rozklade vzoriek pôdy so zmesou 40% HF a 60% $HClO_4$ pomocou atómovej emisnej spektrometrie s mikrovlnne indukovanou plazmou (MP-AES) (Agilent 4100 MP-AES). Obsahy voľných oxidov Fe (Fe_o) boli stanovené po extrakcii metódou MP-AES podľa Mehra a Jackson (11). Obsahy amorfných oxidov železa (Fe_a) boli rovnako stanovené po extrakcii metódou MP-AES (27). Obsahy kryštalických oxidov železa (Fe_c) boli vypočítané, ako rozdiel medzi obsahmi voľných oxidov Fe a amorfných oxidov Fe. Pre vyhodnotenie významnosti spôsobu hospodárenia vo vinohrade na sledované parametre organickej hmoty pôdy a obsahy rôznych foriem Fe bola použitá jednofaktorová analýza rozptylu. Rozdiely medzi variantmi boli posúdené LSD testom s minimálnou hladinou významnosti 95%. Na zistenie vzájomných vzťahov medzi organickou hmotou pôdy, obsahmi Fe a jednotlivých frakcií vodoodolných agregátov bola použitá regresná analýza.

Výsledky a diskusia

Parametre organickej hmoty v závislosti od spôsobu hospodárenia vo vinohrade sú uvedené v tabuľke 1. Obsahy organického uhlíka (C_{org}) boli síce rozdielne, avšak nie štatisticky významné, keďže C_{org} je parameter, ktorý je na viac ako 90% zastúpený nelabilným C. Ako uviedol Stevenson (26) stabilné formy organickej hmoty pôdy sa menia veľmi pomaly a ich kolobeh môže trvať od 250 do 3000 rokov. Obdobie kedy prebehlo vzorkovanie pôdy (po 6. rokoch od založenia pokusu) nebolo dostatočne dlhé na to aby to ovplyvnilo tento parameter organickej hmoty. Uvedené zistenie korešponduje s výsledkami, ktoré z tohto pokusu boli už publikované (20, 21). Labilné formy uhlíka sú považované za citlivejší indikátor, keďže v dôsledku rozdielneho hospodárenia na pôde sa ich hodnoty významne menia a to v priebehu kratšieho času (30). Intenzívna kultivácia medzírada vinohradu nemala významný vplyv na obsah labilného uhlíka (C_L) a uhlíka rozpustného v horúcej vode (C_{HWD}) v porovnaní s TTP. Rovnako ani aplikácia živín, ktorá sa približovala k 3. intenzite hnojenia vinohradov sa štatisticky významne neprejavila na zmenách v týchto formách C. Obsahy C_L a C_{HWD} však boli významne najvyššie v NPK1 a O+MH variantoch v porovnaní s ostatnými variantmi (TTP, O a NPK3). V O+MH sa obsahy C_L priemerne zvýšili o $668 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a v NPK1 o $611 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ v porovnaní s TTP. Hodnoty C_{HWD} sa priemerne o $141 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a o $53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ zvýšili v NPK1 a v O+MH variantoch v porovnaní s TTP (kontrola). Kvalita humusu posúdená na základe pomerov $C_{HK} : C_{FK}$ sa za obdobie 6. rokov po založení pokusu zmenila v dôsledku hospodárenia vo vinohrade (tabuľka 1), avšak štatisticky významný rozdiel bol pozorovaný iba medzi variantmi O a NPK1. Ak boli tie-

- (11) MEHRA, O. – JACKSON, J. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. In *Clay and Clays Minerals*, 5, 1960, s. 317–327.
- (12) MILLAR, C. E. – TURK, L. M. – FOTH, H. D. 1962. *Fundamentals of soil science*. New York : John Wiley and Sons.
- (13) OADES, J. M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. In *Geoderma*, 56, 1993, s. 377–400.
- (14) OADES, J.M. – WATERS, A.G. 1991. Aggregate hierarchy in soils. In *Aust. J. Soil Res.*, 29, 1991, s. 815–828.
- (15) ONWEREMADU, E. U. – ONYIA, V. N. – ANIKWE, M. A. N. 2007. Carbon and nitrogen distribution in water–stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Owerriarea, southeastern Nigeria. In *Soil & Tillage Research*, 97, 2007, s. 195–206.
- (16) PENG, X. – YAN, X. – ZHOU, H. – ZHANG, Y.Z. – SUN, H. 2015. Assessing the contributions of sesquioxides and soil organic matter to aggregation in an Ultisol under long–term fertilization. In *Soil Tillage Res.*, 146, 2015, 89–98.
- (17) PLANTE, A. F. – MCGILL, W. B. 2002. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory–incubated soil with differing simulated tillage frequencies. In *Soil & Tillage Research*, 66, 2002, s. 79–92.
- (18) RABBI, S. M. F. – WILSON, B. R. – LOCKWOOD, P. V. – DANIEL, H. – YOUNG, I. M. 2015. Aggregate hierarchy and carbon mineralization in two Oxisols of New South Wales, Australia. In *Soil & Tillage Research*, 146, 2015, s. 193–203.
- (19) REGELINK, I. C. – STOOF, C. R. – ROUSSEVA, S. – WENG, L. – LAIR, G. J. – KRAM, P. – NIKOLAIDIS, N. P. – KERCHEVA, M. – BANWART, S. – COMANS, R. N. J. 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. In *Geoderma*, 247–248, 2015, s. 24–37.
- (20) ŠIMANSKÝ, V. – HORÁK, J. – LOŽEK, O. – CHLPÍK, J. 2015. How fertilization affects distribution of carbon and nutrients in vineyard soil? In *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 61, 2015, 2, s. 69–74.
- (21) ŠIMANSKÝ, V. 2014. Ako hnojenie ovplyvňuje zadržiavanie uhlíka v pôde?. In *Agrochémia*, XVIII. (54), 2014, 2, s. 13–17.
- (22) ŠIMANSKÝ, V. 2011. Rozdiely v stabilite štruktúry pôdy v dôsledku jej hnojenia. In *Agrochémia*, XV (50), 2011, 3, s. 16–19.
- (23) ŠIMANSKÝ, V. 2015. Eliminácia degradácie pôdnej štruktúry správnym minerálnym hnojením v rodiačom vinohrade. In *Agrochémia*, vol. XIX. (55), 2015, 4, s. 14–19.
- (24) SIX, J. – FELLER, C. – DENEK, K. – OGLE, S. M. – MORAES SA, J. C. – ALBRECHT, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—effects of no–tillage. In *Agronomie*, 22, 2002, s.755–775.
- (25) SLOWINSKA–JURKIEWICZ, A. – BRYK, M. – MEDVEDEV, V. V. 2013. Long–term organic fertilization on chernozem structure. In *International Agrophysics*, 27, 2013, 81–87.
- (26) STEVENSON, F. J. 1994. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*, 2. vyd. New York : John Wiley&Sons, 512 s. ISBN 0–471–59474–1.
- (27) VAN REEUWIJK, L. 1995. *Procedures for soil analysis*. Technical Paper 9, International Soil Reference and Information Centre.
- (28) WANG, Y. – ZHANG, J. H. – ZHANG, Z. H. 2015. Influences of intensive tillage on water–stable aggregate distribution on a steep hillslope. In *Soil & Tillage Research*, 151, 2015, s. 82–92.
- (29) WU, X. – CAI, C. – WANG, J. – WEI, Y. – WANG, S. 2016. Spatial variations of aggregate stability in relation to sesquioxides for zonal soils, South–central China. In *Soil Tillage Res.*, 157, 2016, s. 11–22.
- (30) YANG, X. – REN, W. – SUN, B. – ZHANG, S. 2012. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. In *Geoderma*, 177–178, 2012, s. 49–56.

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

*Dr. Jerzy Jonczak,
Department of Soil Environment Science,
Warsaw University of Life Sciences,
Nowoursynowska St. 159, 02-776 Warsaw, Poland*