

Viljellussüsteemide mõju mulla süsinikuvarule

Karin Kauer, Berit Tein, Liina Talgre, Vyacheslav Eremeev, Anne Luik

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Kauer, K., Tein, B., Talgre, L., Eremeev, V., Luik, A. 2015. Estimation of soil carbon dynamics and its dependence on the farming system. – *Agronomy* 2015.

Maintaining or enhancing the stock of soil organic carbon (SOC) is a key factor in sustaining the soil resources of the world. The objective of this research was to study the effect of different farming systems (conventional farming with mineral fertilizers vs. organic farming with organic fertilizers (catch crops and composted manure)) under the same 5-crop rotation system on the SOC stock. Data presented in this paper concerned the first rotation during 2008–2012. The main factors were farming systems: conventional and organic. Four conventional farming systems differed in the mineral nitrogen application rates. In two organic farming systems catch crops were used with or without composted solid cattle manure. The SOC stock was determined before experiment and after the first rotation. The stock of SOC increased considerably after the first rotation only in the organic farming systems, where the total C-inputs were higher compared to the C-inputs in conventional systems. The use of mineral N contributed to no change in SOC stock but influenced the quality of soil organic matter. This research revealed that, compared to the other studied systems, in a system in which the highest rate of mineral N was used the more stable C fraction of SOM proportion increased.

Keywords: organic farming, conventional farming, N fertilization, SOC stock, DOC

Sissejuhatus

Mulla orgaanilise süsiniku (OS) sisaldus on oluline mulla kvaliteedi näitaja. On teada, et mullaharimise käigus mulla OS-i sisaldus väheneb (Blair *et al.*, 2000), kuid rakendades sobivaid agrotehnilisi võtteid (külvikord, väetised, sh mineraalsed ja orgaanilised väetised), on võimalik mulla OS-i varu vähenemist vältida ja isegi suurendada (Paustian *et al.*, 2007). Üldine teadmine on, et orgaanilised väetised suurendavad mulla OS-i varu (Blair *et al.*, 2000). Mineraalsete väetiste mõju mulla OS-i varule võib olla erinev. On leitud, et mineraalväetiste lisamine suurendab mulla OS-i varu (Gong *et al.*, 2009), sest mineraalväetised suurendavad põllumajanduslikku saaki, millest tulenevalt suureneb ka mulda mineva orgaanilise aine kogus taimejäänuste ja koristusjääkide näol (Liang *et al.*, 2012). Teisalt on leitud ka, et mineraalväetised ei avalda mingit mõju (Halvorson *et al.*, 2002) või pigem isegi vähendavad mulla OS-i varu, soodustades mulla orgaanilise aine mineralisatsiooni (Sinsabugh *et al.*, 2002).

Mulla OS-i varus toimunud muutusi, mis on põhjustatud erinevatest majandamisvõtetest, on keeruline tuvastada, sest muutused kogu mulla OS-i varus on pikaajalised. Seetõttu on otstarbekam määrata muutusi mulla orgaanilise aine eri fraktsioonides (Guimaraes *et al.*, 2013). Kõige levinumad mulla orgaanilise aine fraktsioonid on labiilne ja passiivne. Mulla orgaanilise aine labiilne fraktsioon koosneb kergesti lagunevatest ühenditest, mineraliseerub kiiresti ja ei ole mullas stabiilne. Muutused labiilsetes fraktsioonides avalduvad kiiremini võrreldes muutustega kogu mulla OS-i varus, sest labiilne fraktsioon on erinevatele majandamisvõtetele tundlikum (Saviozzi *et al.*, 2001). Jätkusuutliku põllumajanduse seisukohalt on lisaks kogu mulla OS-i varu suurendamisele oluline suurendada ka stabiilsema fraktsiooni osakaalu mullas.

Uurimistöe eesmärk oli selgitada erinevate viljelussüsteemide (tava ja mahe) mõju mulla OS-i varule ja omadustele. Töö teine eesmärk oli hinnata süsinikusisendi kogust erinevates viljelussüsteemides ja selle seost OS-i varu muutustega.

Materjal ja meetodika

Põldkatsed korraldati aastatel 2008–2012 Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi Rõhu katsejaama Eerika katsepõllul. Katses oli viis üksteisele järgnevat põllukultuuri: punane ristik, talinisu, hernes, kartul ja oder punase ristiku allakülviga, mida kasvatati katsepõllul samaaegselt. Uuritavate aastate (2008–2012) jooksul läbis kogu külvikord esimese rotatsiooni. Tavaviljeluses oli neli varianti: kontroll (N0 – väetamata) ning erinevad mineraalse lämmastikväetiste normid fikseeritud PK väetisnormidega (tabel 1). Maheviljeluses oli kaks viljelussüsteemi: vahekultuuriga viljelussüsteem (O + CC) ning vahekultuuriga viljelussüsteem, mis oli saanud külvikorras (enne kartulit) lisaks komposteeritud sõnnikut 40 t ha⁻¹ (O + CC + M). Vahekultuurid olid taliraps pärast hernest, talirukis pärast kartulit ja raihein pärast talinisu. Katsed olid neljas korduses ja iga katselapi suurus oli 60 m². Katsealal domineeris näivleetunud muld.

Mullaproovid koguti enne katse rajamist 2008. aastal ja 2013. aastal kevadel enne põllutööde algust 0–25 cm sügavuselt. Mullaproovidest määrati OS-i ja N_{uld}-i sisaldus Dumas' kuivpõletusmeetodiga, kasutades elementanalüsaatorit varioMAX. Mulla OS-i varu (t ha⁻¹) arvutati, kasutades valemit:

$$\text{OS-i varu} = \text{BD} \times \text{OS} \times \text{D},$$

kus BD on mulla lasuvustihedus (g cm⁻³), OS on mulla orgaanilise süsiniku sisaldus (mg g⁻¹) ja D on mullakihi tusedus (m). Selles töös katseala mulla BD-d (g cm⁻³) ei määratud, vaid leiti arvutuslikult, kasutades Posti ja Kwoni (2000) valemit:

$$\text{BD} = 100 / \{ (\text{OA} / 10 / 0,244) + [(100 - (\text{OA} / 10)) / 1,64] \},$$

kus OA on mulla orgaanilise aine sisaldus (mg g⁻¹), 0,244 on orgaanilise aine BD ning 1,64 on mulla mineraalosa BD. Eeldati, et mulla orgaaniline aine sisaldab 58% süsinikku (Mann, 1986).

Mulla orgaanilise aine labiilse fraktsiooni hindamiseks määrati vees lahustunud OS-i kogus. Selleks loksutati 10 g õhkuiva mulda 30 ml destilleeritud veega 1 tund,

Tabel 1. Kasvuperioodi jooksul lisatud N, P ja K väetusnormid (kg ha⁻¹) tavaviljelussüsteemides

Viljelussüsteem	Kartul ja talinisu			Oder punase ristiku allakülviga			Hernes		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
N0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N1	20 ¹ +30 ²	25	95	20; ⁺ 20	25	95	20	25	95
N2	20+60+20 ³	25	95	20; ⁺ 60	25	95	20	25	95
N3	20+90+40	25	95	20; ⁺ 90+10	25	95	20	25	95

¹ NPK mahapaneku/külviaegsed väetise normid; ² teine täiendav lisaväetamine N norm kasvuperioodi jooksul sõltuvalt kultuurist ja lõplikust N-väetise kogusest; ³ kolmas täiendav lisaväetamise N norm kasvuperioodi jooksul sõltuvalt kultuurist ja lõplikust N-väetise kogusest.

seejärel tseentrifugeeriti ja filtreeriti läbi 0,45 µm filtri. Saadud lahusest määrati vees lahustunud OS-i sisaldus elementanalüsaatoriga varioMAX. Mulla vees lahustunud OS-i osakaal kogu mulla OS-i sisaldusest (DOCp) arvutati, kasutades valemit:

$$\text{DOCp} = 100 \times (\text{DOC} / \text{OS}),$$

kus DOC on vees lahustunud mulla orgaaniline süsinik (mg g⁻¹) ja OS on kogu mulla orgaaniline süsinik (mg g⁻¹). Katses eemaldati süsinikku põllult ainult põhisaagiga (terad, mugulad). Külvikorras olevatest kultuuridest pärinevad aastased süsiniku (C)-sisendid (mis moodustuvad maapealsest ja -alusest (juured ja risosfäär) biomassist pärit olevast süsinikust) mulda arvutati põhisaagis oleva C kaudu, kasutades eri kultuuride C jaotuskoeffitsiente erinevates taimeosades (Bolinder *et al.*, 2007).

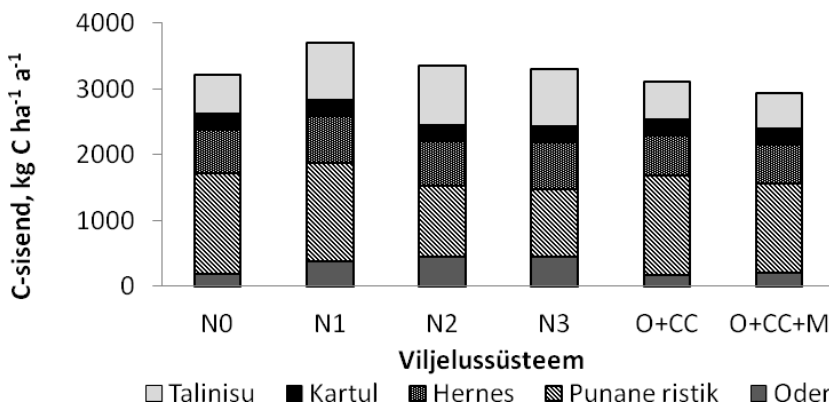
Katseandmed töödeldi dispersioonianalüüsil 95% usalduspiiri juures, kasutades andmetöötlusprogrammi STATISTICA 11 (ANOVA, Fisher LSD test).

Tulemused

Esimese rotatsiooni (2008–2012) keskmine aastane C-sisend mulda varieerus erinevates viljelussüsteemides vahemikus 2935–3697 kg C ha⁻¹y⁻¹ (joonis 1). Maheüsteemides suurendas kogu aastast C-sisendit vahekultuuridest ja komposteeritud sõnnikust pärinev C, mis oli vastavalt 562 ja 495 kg ha⁻¹a⁻¹.

Katse alguses varieerusid mulla OS-i sisaldused 1,2–1,4% (tabel 2). Pärast esimest külvikorda suurenesid mulla OS-i sisaldus ja varu kontrollvariandis ja mõlemas maheviljelusvariandis (O + CC ja O + CC + M). Variandis O + CC suurenes mulla OS-i varu keskmiselt 0,77 t C ha⁻¹ aastas. Sõnniku lisamisel suurenes mulla OS-i varu 2,57 t ha⁻¹ aastas. Tavaviljelusvariantides, kuhu oli lisatud mineraalset N-väetist (variandid N1, N2 ja N3), mulla OS-i varu esimese rotatsiooni jooksul oluliselt ei muutunud.

Katse alguses veelahustuva OS-i sisaldus varieerus erinevatel katselappidel 0,33–0,40 mg g⁻¹ (tabel 3). Külvikorra järel veelahustuva OS-i sisaldus mullas suurenes N1



Joonis 1. Põhikultuuridest pärinevad aasta keskmised süsiniku (C)-sisendid mulda aastatel 2008–2012; N0 – kontrollvariant; N1, N2 ja N3 – erinevate mineraalse lämmastikväetise normidega väetatud variandid; O + CC – vahekultuuridega mahevariant; O + CC + M – vahekultuuridega ja sõnnikuga mahevariant

Tabel 2. Mulla orgaanilise süsiniku (OS) ja üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) sisaldused aastatel 2008 ja 2013 ning OS-i varu muutused aastas

Viljelus- süsteem	OS (%)		$N_{\text{üld}}$ (%)		OS varu (t ha ⁻¹)		OS varu muutus (t ha ⁻¹ a ⁻¹)
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	
N0	1,3 ^{a1}	1,3 ^a	0,13 ^a	0,11 ^{a*2}	46,7 ^a	48,4 ^{a*}	0,34
N1	1,4 ^b	1,4 ^{ab}	0,13 ^a	0,13 ^{b*}	51,1 ^b	50,5 ^{ab}	-0,12
N2	1,4 ^b	1,4 ^{ab}	0,14 ^{bc}	0,13 ^{b*}	51,6 ^b	49,6 ^{ab}	-0,39
N3	1,4 ^b	1,5 ^b	0,13 ^a	0,13 ^{b*}	51,5 ^b	52,2 ^b	0,15
O+CC	1,54 ^b	1,6 ^{c*}	0,15 ^c	0,14 ^{bc*}	52,7 ^b	56,5 ^{c*}	0,77
O+CC+M	1,2 ^a	1,7 ^{c*}	0,14 ^b	0,14 ^c	45,3 ^a	58,2 ^{c*}	2,57

¹ Väikesed tähed ülaindeksina veergudes näitavad usutatavat erinevust ($p < 0,05$) erinevate viljelusviidide vahel;

² Tärn näitab usutatavat ($p < 0,05$) muutust aastate jooksul.

Tabel 3. Mulla C/N suhe, vees lahustunud orgaaniline süsiniku (DOC) sisaldus ja vees lahustuva orgaanilise süsiniku osakaal kogu mulla orgaanilisest süsinikust (DOCp)

Viljelus- süsteem	C/N		DOC (mg g ⁻¹)		DOCp (%)	
	2008	2013	2008	2013	2008	2013
N0	9,7 ^{ab1}	11,7 ^{a*2}	0,33 ^a	0,36 ^{ab}	2,6 ^{ab}	2,7 ^b
N1	10,6 ^b	10,7 ^a	0,35 ^a	0,54 ^{c*}	2,5 ^a	4,0 ^{c*}
N2	10,1 ^b	10,6 ^a	0,38 ^b	0,47 ^{d*}	2,7 ^{ab}	3,5 ^{d*}
N3	10,7 ^b	11,5 ^{a*}	0,37 ^b	0,32 ^{a*}	2,6 ^{ab}	2,2 ^{a*}
O+CC	10,0 ^b	11,9 ^{a*}	0,40 ^c	0,34 ^{ab*}	2,7 ^b	2,1 ^{a*}
O+CC+M	8,7 ^a	11,8 ^{a*}	0,40 ^c	0,38 ^{b*}	3,3 ^c	2,3 ^{a*}

¹ Väikesed tähed ülaindeksina veergudes näitavad usutatavat erinevust ($p < 0,05$) erinevate viljelusviidide vahel;

² Tärn näitab usutatavat ($p < 0,05$) muutust aastate jooksul.

ja N2 süsteemides vastavalt 54% and 34%. Variandis N3 ja mõlemas mahevariandis veeslahustuva OS-i sisaldused vähenesid (-13%, -15% ja -5%, vastavalt) võrreldes algse sisaldusega 2008. aastal. Külvikorra järel veeslahustuva OS-i osakaal kogu OS-i varus suurenes N1 ja N2 süsteemides, kuid vähenes N3 ja mahevariandides.

Tavaviljeluses, kuhu oli lisatud mineraalset N-väetist (variandid N1, N2 ja N3) vähenes veeslahustuva OS-i osakaal N normi suurenedes. Katse algul oli mulla C/N suhe keskmiselt 10, külvikorra järel suhe laienes kontroll-, N3 ja mahevariantides.

Arutelu

Kõige rohkem suurenes mulla OS-i varu variandis, kus oli kõige suurem aastane C-sisend (variandis O + CC + M). C-sisendi koguse ja OS-i varu suurenemise vahelist positiivset seost on leitud ka teistes eelnevates uurimistöodes (Duiker, Lal, 1999; Nyborg *et al.*, 1999). Meie töös ilmnes, et kui kogu aastane C-sisend (põhi- ja vahekultuuridest pärinev) ületas 4415 kg C ha⁻¹a⁻¹ (nii nagu oli O + CC variandis), siis OS-i bilanss oli mullas positiivne ja mulla OS-i varu suurenes. Tavaviljelusvariantides, mida oli väetatud N erinevate normidega, varieerus ainult põhikultuuridest pärinev C-sisend 3302–3697

kg C ha⁻¹a⁻¹ ning OS-i bilanss oli mullas tasakaalus, s.t mineraliseerunud OS-i kogus ja C-sisend mulda olid enam-vähem võrdsed. Kontrollvariandis oli C-sisend eespool nimetatud variantidega sama suur, kuid mulla OS-i varu suurenes keskmiselt 340 kg C ha⁻¹ aastas. Ilmselt soodustas väetatud mullas mineraalse N-i lisamine orgaanilise aine mineralisatsiooni (Sinsabugh *et al.*, 2002), mistõttu mulla OS-i varu ei suurenenud. Kontrollvariandis võis N-i kättesaadavus lagunemisprotsessis olla ebapiisav, mistõttu orgaanilise aine mineralisatsioon oli aeglasem ning toimus orgaanilise aine kuhjumine mulda.

Kõige stabiilsem orgaaniline aine moodustus mineraalse N-i suurima normi kasutamisel. N-i kättesaadavus soodustas orgaanilise aine mineralisatsiooni, mille tulemusena suurenes stabiilsema fraktsiooni osakaal mulla orgaanilise aines. Seda kinnitab orgaanilises aines oleva veeslahustuva OS-i osakaalu vähenemine võrreldes teiste mineraalse lämmastikuga väetatud variantidega. Madalamate N normidega väetatud tavaviljelusvariantides veeslahustuva OS-i sisaldus ja osakaal kogu mulla OS-ist suurenesid, mis osutab sellele, et mullas suureneb labiilsema orgaanilise aine osakaal. Ka Liang *et al.* (2012) leidsid, et labiilsema fraktsiooni sisaldus oli suurem tavaviljeluses, kuid ilmselt peab arvestama, et see sõltub N-i kättesaadavusest. Mulla veeslahustuva OS-i sisalduse ja osakaalu vähenemine kogu mulla OS-ist osutab sellele, et mullas moodustub stabiilsem orgaaniline aine. Suurema stabiilsema fraktsiooniga mulla orgaaniline aine on jätkusuutlikum ja keskkonnasäästlikum, sest seob rohkem C-d stabiilsemasse vormi ja ei ole välistingimuste mõjutuste suhtes tundlik.

Veeslahustuva OS-i osakaal kogu mulla OS-ist vähenes ka maheviljeluses. Stabiilsema fraktsiooni suurenemine on seotud nendes variantides suurema C-sisendiga võrreldes tavaviljelusega. Orgaanilise aine kuhjumine mulda sõltub C-sisendi omadustest (Singh *et al.*, 2009). Eelnevalt on leitud, et sõnniku lisamisel suureneb mulla veeslahustuva OS-i sisaldus (Gong *et al.*, 2009), mille põhjuseks võib olla see, et lisatud sõnnik sisaldab palju kergesti lagunevaid ühendeid (nt veeslahustuvat OS-i) (Liang *et al.*, 1997). Käesolevas uurimistöös sõnnikuga mahevoriandis veeslahustuva OS-i osakaal vähenes, sest katses kasutati komposteeritud sõnnikut, mis sisaldab vähem labiilsemat fraktsiooni (Gomez-Brandon *et al.*, 2008).

Mulla veeslahustuva OS-i dünaamika oli seotud ka mulla C/N suhte dünaamikaga. Kui külvikorra järel mulla C/N suhe laienes, siis veeslahustuva OS-i sisaldus vähenes (suurenes stabiilsema fraktsiooni osakaal). Mulla C/N suhe laienes usutavalt külvikorra järel maheviljelussüsteemides. Laiem C/N suhe osutab sellele, et mulla orgaanilise aine mineralisatsioon ei ole nii intensiivne kui algselt (Mary *et al.*, 1996). Madalate N normidega variantides (N1 ja N2) C/N suhe külvikorra järel ei muutunud ning mulla orgaanilise aine stabiilsema fraktsiooni osakaal vähenes.

Kokkuvõte

Katses olnud viljelussüsteemides olid erinevad N-i allikad (mineraalne N väetis ning liblikõielised kultuurid, vahekultuurid ja sõnnik orgaanilise väetisena) ning sõltuvalt sellest oli mõju mulla OS-i varu dünaamikale erinev. Kõige rohkem suurenes OS-i varu variandis, kus kasvatati vahekultuure ja külvikorras oli antud ka sõnnikut 40 t ha⁻¹. Stabiilsema fraktsiooni osakaal suurenes enim aga kõige suurema mineraalse N normiga väetatud variandis, mis näitab, et suurema N normi kasutamine võib soodustada püsivama ja harimisele vähemtundliku orgaanilise aine moodustumist.

Tänuavaldused

Uurimistööd on toetanud CORE Organic II rahastusallikad, olles FP7 ERA-Net projekti CORE Organic II TILMAN-ORG partnerid, ja ETF-i projekt SF0170057s09.

Kasutatud kirjandus

- Blair, N. 2000. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a chromic luvisol in Queensland, Australia. – *Soil Tillage and Research* **55**, 183–191.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., VandenBygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* **118**, 29–42.
- Duiker, S.W., Lal, R. 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a luvisol in central Ohio. – *Soil Tillage and Research* **52**, 73–81.
- Gong, W., Yan, X., Wang, J., Hu, T., Gong, Y. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. – *Geoderma* **149**, 318–324.
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., Domínguez, J. 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. – *Chemosphere* **70**, 436–444.
- Guimaraes, D.V., Silva Gonzaga, M.I., da Silva, T.O., da Silva, T.L., Dias, N.S., Silva Matias, I. 2013. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. – *Soil Tillage and Research* **126**, 177–182.
- Halvorson, A., Wienhold, B.J., Black, A.L. 2002. Tillage, Nitrogen, and Cropping System Effects on Soil Carbon Sequestration. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. Paper 1219. Kättesaadav: <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1219>.
- Liang, Q., Chen, H., Gong, Y., Fan, M., Yang, H., Lal, R., Kuzyakov, Y., 2012. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the north China plain. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **92**, 21–33.
- Liang, B.C., Mackenzie, A.F., Schnitzer, M., Monreal, C.M., Voroney, P.R., Beyaert, R.P. 1997. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils. – *Soil Biology and Fertility of Soils* **26**, 88–94.
- Mary, B., Recous, S., Darwls, D., Robin, D. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soils. – *Plant and Soil* **181**, 71–82.
- Nyborg, M., Malhi, S., Solberg, E., Izaurralde, R., 1999. Carbon storage and light fraction C in a grassland dark gray chernozem soil as influenced by N and S fertilization. – *Canadian Journal of Soil Science* **79**, 317–320.
- Paustian, K., Levine, E., Post, W.M., Ryzhova, I.M. 1997a. The use of models to integrate information and understanding of soil C at the regional scale. – *Geoderma* **79**, 227–260.
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., Riffaldi, R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. – *Plant and Soil* **233**, 251–259.
- Singh, S., Ghoshal, N., Singh, K.P. 2007. Variations in soil microbial biomass and crop roots due to differing resource quality inputs in a tropical dryland agroecosystem. – *Soil Biology and Biochemistry* **39**, 76–86.
- Sinsabaugh, R., Carreiro, M., Repert, D. 2002. Allocation of extracellular enzymatic activity in relation to litter composition, N deposition, and mass loss. – *Biogeochemistry* **60**, 1–24.