

# Muutused mulla mikroobide hüdrolüütilises aktiivsuses ja orgaanilise süsiniku sisalduses punase ristiku allakülviga odra kasvatamisel

Jaan Kuht<sup>1</sup>, Maarika Alaru<sup>1</sup>, Viacheslav Eremeev<sup>1</sup>, Liina Talgre<sup>1</sup>, Evelin Loit<sup>1</sup>, Anne Luik<sup>2</sup>

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

<sup>1</sup> taimekasvatuse ja taimebioloogia õppetool

<sup>2</sup> taimetervise õppetool

**Abstract.** Kuht, J., Alaru, M., Eremeev, V., Talgre, L., Loit, E., Luik, A. 2018. Changes in the soil microbial hydrolytic activity (FDA) and the content of organic carbon ( $C_{org}$ ) by cultivating barley undersown with red clover. – *Agronomy* 2018.

The experiments were carried out in the Eerika test site of Rõhu experimental station of Institute of agricultural and environmental sciences, Estonian University of Life Sciences during 2012–2016. There were 5 crops in rotation: red clover, winter wheat, pea, potato and barley undersown with red clover. There were 7 cultivation systems in the experimental setup (4 conventional systems with chemical plant protection and mineral fertilizers, 3 organic systems which included winter cover crops and farm manure). The aim of the present research was to study the effect of cultivating the barley undersown with red clover on the soil hydrolytic activity (FDA), the change in the content of organic carbon ( $C_{org}$ ) and humus ( $t\ ha^{-1}$ ) compared to the same parameters from the field previously under potato (precrop of barley in the rotation). Our results indicated that the cultivation of barley undersown with red clover had a positive impact on the content of soil microorganisms, by increasing their hydrolytic activity. The values for soil microbial hydrolytic activity (FDA) after the cultivation of barley undersown with red clover were by 18.6% in conventional systems and 37.2% in organic systems, compared to the soil after the harvest of potato (precrop). As an average of the experimental years the content of organic carbon ( $C_{org}$ , %) increased by 11.6% in organic systems compared to the conventional. After the cultivation of barley undersown with red clover there were no significant changes in the content of organic carbon ( $C_{org}$ ). Strong correlation ( $r=0.55$ ) was found between the  $C_{org}$  content in the soil after barley and the soil hydrolytic activity. The changes in the humus content after the cultivation of barley undersown with red clover showed an increasing trend in conventional systems, while in organic systems slight decrease was measured.

**Keywords:** cropping systems, organic farming, barley, FDA,  $C_{org}$

## Sissejuhatus

Mulla umbrohuseemnete sisalduse uurimised näitasid, et talviste vahekultuuridega ja sõnnikuga väetatud variantides vähenes usutavalt ristiku allakülviga odra kasvatamisel seemnete sisaldus mullas (Kuht et al., 2012; 2016). Samuti aitas punase ristiku allakülv odrale (mis toimis ka elusmultšina) vähendada umbrohtumist (Barberi et al., 2014). Elusmultši kõrget efektiivsust umbrohtude allasurumisel on täheldanud ka Liebman, Dyck (1993) ning Miura, Watanabe (2002). Lisaks on allakülvidel mõju ka mulla füüsikalistele ja keemilistele omadustele (Russell, 1971; Christensen, 1996). Mulla füüsikaliste ning keemiliste näitajate kõrval pööratakse suuremat tähelepanu ka mulla bioloogilistele näitajatele (sh. mikroobsed, ensümaatilised aktiivsused).

Käesoleva uurimise eesmärgiks oli selgitada punase ristiku allakülviga odra kasvatamise mõju mulla mikrobioloogilisele aktiivsusele (FDA), orgaanilise süsiniku (Corg) sisalduse ja huumusvaru ( $t\ ha^{-1}$ ) muutustele võrrelduna kartuli alt vabanenud ala vastavate näitajatega.

## Materjal ja meetodika

Eesti Maaülikooli katsepõllule Eerikal rajati 2008. a. viieväljaline tava- ja maheviljeluse külvikord, järgnevusega - punane ristik, talinisu, hernes, kartul ja oder punase ristiku allakülviga. Katseala mullastik oli näivleetunud (*Stagnic Luvisol* WRB 2002 klassifikatsiooni järgi) (Deckers et al., 2002), lõimiselt kerge liivsavi, huumuskihi tusedus 27–30 cm (Reintam, Köster, 2006).

Katsed rajati neljas korduses, katselappide suurus oli 60 m<sup>2</sup>. Käesolevas töös on kasutatud perioodil 2012–2017. a kogutud andmestikku. Vaatluse all oli punase ristiku (sort „Varte“) allakülviga oder (sort „Anni“), mida võrreldi selle eelvilja kartuli (sort „Maret“) vastavate näitajatega.

Tavaviljeluse süsteemis N0 odrale punase ristiku allakülviga väetisi ei antud. Tavasüsteemidele N1, N2 ja N3 anti ühesugune kogus fosforit (P; 25 kg ha<sup>-1</sup>) ja kaaliumit (K; 95 kg ha<sup>-1</sup>), kuid sõltuvalt variandist väetati lämmastikuga järgmiselt (N): N1 - 40 kg ha<sup>-1</sup>; N2 - 80 kg ha<sup>-1</sup> ja N3 - 120 kg ha<sup>-1</sup>. Kõigis tavasüsteemides kasutati umbrohtõrjeks MCPA-750 normiga 1 l ha<sup>-1</sup>, kasutati ka fungitsiide odra haiguste tõrjeks.

Maheviljeluses oli kolm erinevat süsteemi – talviste vahekultuurideta viljelussüsteem (Mahe 0), mis järgib ainult külvikorda; talviste vahekultuuridega viljelussüsteem (Mahe 1) ning talviste vahekultuuride ja komposteeritud veisesõnnikuga (kevadell teraviljadele 10 t ha<sup>-1</sup>, kartulile 20 t ha<sup>-1</sup>) viljelussüsteem (Mahe 2). Mahesüsteemides M1 ja M2 külvati pärast kartuli koristust talviseks vahekultuuriks (ristiku allakülviga odra ees) talirukis, mis künti kevadel mulda haljasväetiseks.

Mulla mikroobide hüdrofüütilist aktiivsust määrati fluorestseini diatsetaadi hüdrofüüsi kaudu. Fluorestseini diatsetaadi (FDA) hüdrofüüsi spektrofotomeetriline määramine on lihtne, tundlik ja kiire meetod mikroobide aktiivsuse määramiseks mullas (Schnürer, Rosswall, 1982). Mikroobse hüdrofüütilise aktiivsuse määramiseks võeti 5–10 cm sügavuselt 500g proovid vastavalt ISO 10381-6 (1993) meetodikale ja sõeluti läbi 2 mm sõela (Reeuwijk, 2002). Reagentide ettevalmistamine järgneva FDA analüüsi jaoks toimus vastavalt Adam, Duncan (2001) kirjeldatud meetodil. Mulla

orgaanilise süsiniku (Corg) määramine toimus Tjurini meetodi alusel (Vorobyova, 1998). Mulla pH määrati 1M KCl lahuses (vahekord 1:2,5).

Katseandmed töödeldi Statistica 7.0 tarkvara abil (ANOVA, Fisher LSD test, Statsoft, 2005) Statistiliselt usutavad erinevused ( $p < 0,05$ ) variantide vahel on märgitud erinevate tähtedega.

## Tulemused ja arutelu

Punase ristiku allakülviga odra kasvatamine tõstis aastate keskmisena mulla mikroobset hüdrolüütilist aktiivsust kõikides viljelussüsteemides (tabel 1). Võrreldes kartuli alt vabanenud ala mullaga, olid FDA näitajad allakülviga odra kasvujärgselt tavaviljeluse aladel  $8,3 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (18,6%) ja mahealadel  $3,9 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (7,2%) võrra suuremad. Ka Edesi et al., (2012) täheldasid pikaajaliste külvikordade mõju mulla mikrobioloogilisele kooslusele ja nende aktiivsusele. Madsen et al. (2016a) leidsid, et katsaladel, mis olid väetamata, aga kasutati pestitsiide, oli ka FDA väärtused kõige väiksemad. Tabelist 2 selgub, et aastate keskmisena kasvasid tavaviljelussüsteemides FDA väärtused 11,4% võrra enam kui maheviljelusega aladel. Alaru et al. (2017) leidsid, et keskmine punase ristiku maapealse biomassi saak oli tavasüsteemides 17% kõrgem kui maheviljelussüsteemides.

**Tabel 1.** Mulla mikroobne hüdrolüütiline aktiivsus (FDA) ( $\mu\text{g}$  fluoreststeini  $\text{g}^{-1}$  kuiva mulla kohta  $\text{h}^{-1}$ ) enne ja pärast allakülviga odra kasvatamist aastatel 2012–2017

Viljelus-süsteem	Enne allakülviga odra kasvatamist					
	2012	2013	2014	2015	2016	Keskmine
N0	41,4 <sup>A1a2</sup>	46,5 <sup>Ab</sup>	42,6 <sup>Aab</sup>	45,4 <sup>Aab</sup>	43,6 <sup>Aab</sup>	43,9 <sup>A</sup>
N3	48,5 <sup>Ba</sup>	52,6 <sup>BCb</sup>	45,7 <sup>ABa</sup>	50,0 <sup>ABab</sup>	46,0 <sup>ABa</sup>	48,6 <sup>B</sup>
M0	52,7 <sup>Cb</sup>	51,2 <sup>Bab</sup>	49,0 <sup>BCa</sup>	50,5 <sup>AabB</sup>	52,3 <sup>Bab</sup>	51,1 <sup>B</sup>
M1	57,0 <sup>Db</sup>	53,7 <sup>Cab</sup>	51,5 <sup>Ca</sup>	53,7 <sup>BCab</sup>	50,9 <sup>Ba</sup>	53,4 <sup>C</sup>
M2	56,8 <sup>Dab</sup>	57,2 <sup>Dab</sup>	53,9 <sup>Ca</sup>	58,3 <sup>Cab</sup>	61,3 <sup>CBb</sup>	57,5 <sup>D</sup>
Pärast allakülviga odra kasvatamist						
	2013	2014	2015	2016	2017	Keskmine
N0	51,0 <sup>Aa*</sup>	52,1 <sup>Aab*</sup>	47,4 <sup>Aa</sup>	56,4 <sup>Ab*</sup>	52,6 <sup>Aab*</sup>	51,9 <sup>A*</sup>
N3	58,5 <sup>Ba*</sup>	56,6 <sup>Aa*</sup>	58,1 <sup>Ba*</sup>	60,9 <sup>ABa*</sup>	55,3 <sup>Aa*</sup>	57,9 <sup>BC*</sup>
M0	56,4 <sup>Bab*</sup>	56,1 <sup>Aab*</sup>	51,3 <sup>ABa</sup>	54,6 <sup>Aab</sup>	59,2 <sup>Ab</sup>	55,5 <sup>B*</sup>
M1	61,8 <sup>Cb*</sup>	56,7 <sup>Aa</sup>	57,3 <sup>Bab</sup>	56,1 <sup>Aa</sup>	56,5 <sup>Aa</sup>	57,7 <sup>BC*</sup>
M2	64,5 <sup>Db*</sup>	59,3 <sup>Aab</sup>	55,3 <sup>Ba</sup>	65,3 <sup>Bb</sup>	57,8 <sup>Aa</sup>	60,4 <sup>C*</sup>

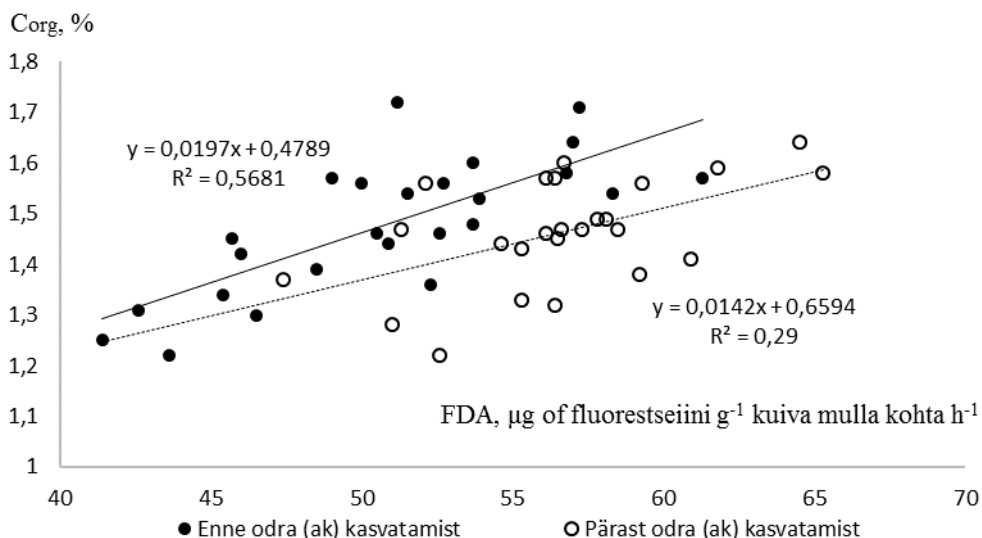
<sup>1</sup>Arvud, millele järgnevad erinevad suurtähed, näitavad igas veerus viljelussüsteemide olulist mõju ( $p < 0,05$ ). <sup>2</sup>Arvud, millele järgnevad väikesed tähed, näitavad igas reas aasta olulist mõju ( $p < 0,05$ ). <sup>3</sup>Tähtedele järgnev \* näitab märkimisväärset erinevust ( $p < 0,05$ )

Katsest selgus, et kõige suurem mulla mikroobne hüdrolüütiline aktiivsus ilmnes pärast ristiku allakülviga odra kasvatamist maheviljelussüsteemis M2, olles sealjuures katseaastate keskmisena  $2,9 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  võrra suurem võrreldes odraeelse kartuli kasvuala FDA näitajatega. Samal katsealal varem läbiviidud uuringud näitasid, et külvikorra keskmisena mõõdeti kõige kõrgem FDA näitaja mahesüsteemides, kus

mulda küntud orgaanilise aine (taimejäänused, vahekultuurid, sõnnik) kogus oli kõige suurem, (Madsen et al., 2016b).

Mulla orgaanilise süsiniku osatähtsuse tõstmine nõuab orgaanilise materjali koguste olulist suurendamist, mulda viidud orgaanilise aine lagunemisele kaasaaitamist kas otseselt selle vajalikku sügavusse viimisega ja mullaga segamisega või kaudselt, soodustades pindmiste võtetega mulla organismide tegevust (Post, Kwon, 2000).

Sánchez de Cima et al. (2016) leidsid, et talvistel vahekultuuridel ja sõnnikul oli märkimisväärne mõju mikroorganismide ensümaatilisele aktiivsusele, kuid mulla orgaanilise süsiniku sisaldusele olulist mõju ei täheldatud. Ka meie katses leidis see kinnitust, kus enne allakülviga odra kasvatamist 2012–2017 aastate keskmiste FDA ja  $C_{org}$  näitajate vaheline seos oli nõrk (joonis 1), küll aga ilmnnes tugev korrelatiivne seos ( $r=0,75^{**}$ ;  $p < 0,05$ ) ristiku allakülviga odra järgse mulla  $C_{org}$  sisalduse ja mikroobse aktiivsuse vahel. Seega punase ristiku allakülviga odra kasvatamine avaldas soodsat mõju mulla mikroorganismidele, tõstes olulisel määral mullaorganismide hüdrofüütilist aktiivsust (FDA) mulla orgaanilise süsiniku moodustumisel.



**Joonis 1.** Seos hüdrofüütilise aktiivsuse (FDA) ja orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisalduse vahel maheviljelusviisides enne ja pärast punase ristiku allakülviga odra kasvatamist.

Mulla orgaanilise süsiniku sisalduse seisukohalt osutus peamiselt 2013. aasta, kus kartuli koristusjärgse mulla  $C_{org}$  sisaldus maheviljelussüsteemides tõusis suurusjärguni 1,72%, olles tavaviljelussüsteemidest 0,30 võrra ehk 17,8 % kõrgem (tabel 2). Katseaastate keskmisena olid need näitajad vastavalt 0,18 ja 11,6%. Pärast allakülviga odra kasvatamist võrreldes selle eelsega  $C_{org}$  sisalduses olulisi usaldusväärseid muutusi ei täheldatud.

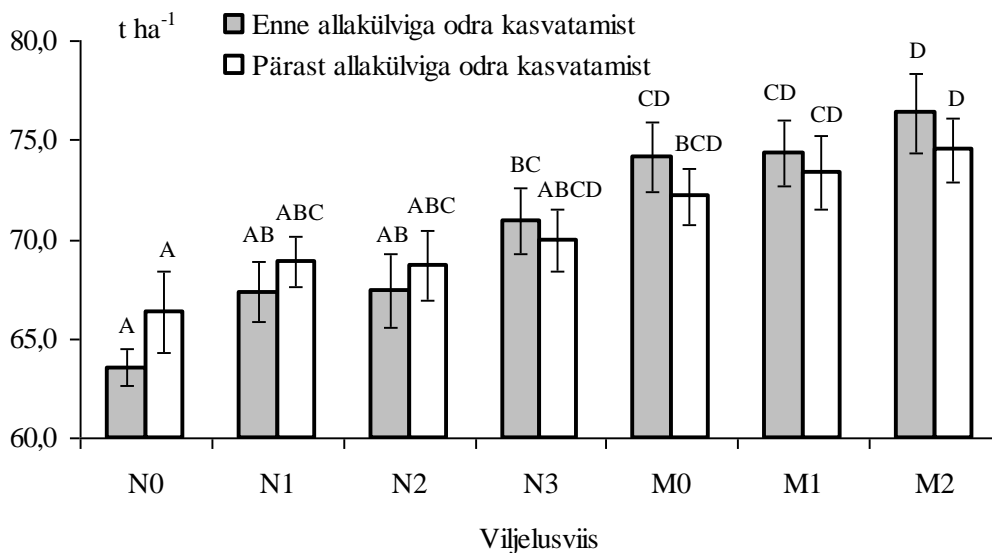
**Tabel 2.** Mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ , %) kontsentratsioon enne ja pärast allakülviga odra kasvatamist aastatel 2012–2017

Viljelus-süsteem	Enne allakülviga odra kasvatamist					
	2012	2013	2014	2015	2016	Keskmine
N0	1,25 <sup>A1a2</sup>	1,30 <sup>Aa</sup>	1,31 <sup>Aa</sup>	1,34 <sup>Aa</sup>	1,22 <sup>Aa</sup>	1,28 <sup>A</sup>
N1	1,32 <sup>Aa</sup>	1,40 <sup>ABa</sup>	1,41 <sup>Aa</sup>	1,38 <sup>Aa</sup>	1,34 <sup>ABa</sup>	1,37 <sup>AB</sup>
N2	1,43 <sup>ABa</sup>	1,35 <sup>Aa</sup>	1,43 <sup>Aa</sup>	1,35 <sup>Aa</sup>	1,33 <sup>Aa</sup>	1,38 <sup>AB</sup>
N3	1,39 <sup>ABa</sup>	1,46 <sup>ABa</sup>	1,45 <sup>Aa</sup>	1,56 <sup>Aa</sup>	1,42 <sup>ABa</sup>	1,46 <sup>BC</sup>
M0	1,56 <sup>BCab</sup>	1,72 <sup>Bb</sup>	1,57 <sup>Aab</sup>	1,46 <sup>Aa</sup>	1,36 <sup>ABa</sup>	1,53 <sup>CD</sup>
M1	1,64 <sup>Ca</sup>	1,60 <sup>ABa</sup>	1,54 <sup>Aa</sup>	1,48 <sup>Aa</sup>	1,44 <sup>ABa</sup>	1,54 <sup>CD</sup>
M2	1,58 <sup>BCa</sup>	1,71 <sup>Ba</sup>	1,53 <sup>Aa</sup>	1,54 <sup>Aa</sup>	1,57 <sup>Ba</sup>	1,59 <sup>D</sup>

	Pärast allakülviga odra kasvatamist					
	2013	2014	2015	2016	2017	Keskmine
N0	1,28 <sup>Aab</sup>	1,56 <sup>Ab</sup>	1,37 <sup>Aab</sup>	1,32 <sup>Aab</sup>	1,22 <sup>Aa</sup>	1,35 <sup>A</sup>
N1	1,34 <sup>ABa</sup>	1,47 <sup>Aa</sup>	1,42 <sup>Aa</sup>	1,48 <sup>ABa</sup>	1,35 <sup>ABa</sup>	1,41 <sup>ABC</sup>
N2	1,37 <sup>ABCa</sup>	1,46 <sup>Aa</sup>	1,36 <sup>Aa</sup>	1,46 <sup>ABa</sup>	1,38 <sup>ABa</sup>	1,40 <sup>AB</sup>
N3	1,47 <sup>ABCDa</sup>	1,47 <sup>Aa</sup>	1,49 <sup>Aa</sup>	1,41 <sup>ABa</sup>	1,33 <sup>ABa</sup>	1,43 <sup>ABCD</sup>
M0	1,57 <sup>BCDa</sup>	1,57 <sup>Aa</sup>	1,47 <sup>Aa</sup>	1,44 <sup>ABa</sup>	1,38 <sup>ABa</sup>	1,49 <sup>BCD</sup>
M1	1,59 <sup>CDa</sup>	1,60 <sup>Aa</sup>	1,47 <sup>Aa</sup>	1,46 <sup>ABa</sup>	1,45 <sup>Ba</sup>	1,52 <sup>CD</sup>
M2	1,64 <sup>Da</sup>	1,56 <sup>Aa</sup>	1,43 <sup>Aa</sup>	1,58 <sup>Ba</sup>	1,49 <sup>Ba</sup>	1,54 <sup>D</sup>

<sup>1</sup>Arvud, millele järgnevad erinevad suurtähed, näitavad igas veerus viljelussüsteemide olulist mõju ( $p < 0,05$ ). <sup>2</sup>Arvud, millele järgnevad väikesed tähed, näitavad igas reas aasta olulist mõju ( $p < 0,05$ ). <sup>3</sup>Tähtedele järgnev \* näitab märkimisväärset erinevust ( $p < 0,05$ )



**Joonis 2.** Mulla huumusvaru  $t\ ha^{-1}$  olenevalt viljelusviisist enne ja pärast punase ristiku allakülviga odra kasvatamist 2013–2017 aastate keskmisena. Erinevad tähed igas tulbas näitavad viljelussüsteemide olulist mõju ( $p < 0,05$ ).

Kauer et al. (2015) leidsid, et korralikult välja kujunenud külvikordades võib suurtest N väetiste annustest olla kasu orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) osatähtsuse kujunemise stabiliseerimisel. See võis olla üheks põhjuseks, miks mulla huumusvaru ( $t\ ha^{-1}$ ) muutused allakülviga odra kasvatamisel näitasid tavaviiljelussüsteemides võrreldes eelvilja alaga enamasti kasvutendentsi, samas kui maheviljelussüsteemidega aladel võis täheldada huumusvaru mõningast vähenemist (joonis 2).

## Järeldused

Uurimistulemustest selgus, et punase ristiku allakülviga odra kasvatamine avaldas soodsat mõju mulla mikroorganismidele, suurendades mullaorganismide hüdrofüütilist aktiivsust. Mulla mikroobide hüdrofüütilise aktiivsuse (FDA) määramistulemused olid pärast punase ristiku allakülviga odra kasvatamist tavaviiljeluse aladel 18,6% ja mahealadel 37,2% võrra suuremad võrreldes eelvilja (kartuli) alt vabanenud ala mullaga. Katseaastate keskmisena tõusis orgaanilise süsiniku ( $C_{org}\%$ ) sisaldus maheviljelusviisides 11,6% võrreldes tavaviiljelusega. Pärast allakülviga odra kasvatamist võrreldes selle eelsega  $C_{org}$  sisalduses olulisi usaldusväärseid muutusi ei täheldatud. Enne allakülviga odra kasvatamist seos FDA ja  $C_{org}$  vahel sisuliselt puudus. Küll aga esines tugev korrelatiivne seos ( $r=0,55^{**}$ ) ristiku allakülviga odra järgse mulla orgaanilise süsiniku sisalduse ja mikroobse aktiivsuse vahel. Mulla huumusvaru muutused allakülviga odra kasvatamisel näitasid tavaviiljelussüsteemides võrreldes kartulijärgse alaga enamasti kasvutendentsi, samas kui maheviljelusega aladel võis täheldada huumusvaru mõningast vähenemist.

## Tänuavaldused

Artikkel on valminud ERA-NET Core organic projekti FertilCrop, Eesti Maaülikooli baasfinantseerimise projekti 8-2/T13001PKTM ja "Institutsionaalne uurimistoetus" projekti IUT36-2 toel.

## Kasutatud kirjandus

- Adam, D., Duncan, H. 2001. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbiological activity using fluorescein diacetate (FDA) in range of soils. *Soil Biology and Biochemistry* **33**, 943–951.
- Alaru, M., Talgre, L., Luik, A., Tein, B., Ereemeev, V., Loit, E. 2017. Barley undersown with red clover in organic and conventional systems: nitrogen aftereffect on legume growth. *Zemdirbyste-Agriculture* **104** (2), 131–138.
- Barberi, P., Aendekerk, R., Antichi, D., Armengot, L., Berner, A., Bigongiali, F., Blanco-Moreno, J. M., Carlesi, S., Celette, F., Chamorro, L., Crowley, O., Döring, T., Grosse, M., Haase, T., Hess, J., Huiting, H., Jose-Maria, L., Klaedtke, S., Klänzler, A., Luik, A., Peigné, J., Sukkel, W., Surböck, A., Talgre, L., Sans, F.X. 2014. Reduced tillage and cover crops in organic arable systems preserve weed diversity without jeopardising crop yield. In: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> ISOFAR Scientific Conference. 'Building Organic Bridges'*, at the Organic World Congress 2014, 13–15 Oct., Istanbul, Turkey, pp. 765–768.
- Christensen, B.T. 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. In: *Evaluation of Soil Organic Matter Models* (eds Powlson D.S., Smith, P., Smith, J U), NATO ASI Series 1, Vol. 38. Springer-Verlag, Berlin.

- Deckers, J.A., Driessen, P., Nachtergaele, F.O.F., Spaargaren, O. 2002. World reference base for soil resources in a nutshell. In Micheli, E., Nachtergaele, F.O., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (eds.): Soil Classification 2001. *European Soil Bureau Research Report No. 7*, EUR 20398 EN, pp. 173–181.
- Edesi, L., Järvan, M., Noormets, M., Lauringson, E., Adamson, A., Akk, E. 2012. The importance of solid cattle manure application on soil microorganisms in organic and conventional cultivation. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* **62** (7), 1–12.
- ISO 10381-6, 1993. Soil quality- Sampling. Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in laboratory. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland.
- Kauer, K., Tein, B., Sanches de Cima, D., Talgre, T., Eremeev, V., Loit, E., Luik, A. 2015. Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate. *Soil & Tillage Research*, **154**, 53–63.
- Kuht, J., Luik, A., Eremeev, V., Talgre, L., Tein, B. 2012. Mulla umbrohuseemnete varu mahepõllul. *Teaduselt mahepõllumajandusele*. Konverentsi „Mahepõllumajanduse arengusuunad – teadlaselt mahepõllumajandusele“ toimetised, Tartu, lk 56-58.
- Kuht, J., Eremeev, V., Talgre, L., Madsen, H., Toom, M., Mäeorg, E., Luik, A. 2016. Soil weed seed bank and factors influencing the number of weeds at the end of conversion period to organic production. *Agronomy Research* **14** (4), 1372–1379.
- Liebman, M., Dyck, E. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* **3** (1), 92–122.
- Madsen, H., Talgre, L., Eremeev, V., Sanches De Cima, D., Luik, A. 2016a. The effect of farming system on soil microbial hydrolytical activity. *Programe and Abstarcts: Long-term Agroecosystem Sustainability: Links between Carbon Sequestration in Soils, Food Security and Climate Change. International Scientific Conference AgroEco2016*, Lithuania, Kaunas, 4–6 October 2016. Ed. Aldona Bagdonienė. Akademiija, 42.
- Madsen, H., Talgre, L., Eremeev, V., Luik, A. 2016b. Pestitsiidid suruvad alla mulla mikroobide hüdrolüütilist aktiivsust. Metspalu, L., Jõgar, K., Veromann, E., Mänd, M. (Toim.). Eesti Taimekaitse 95, Ecoprint AS, lk 79–82.
- Miura, S., Watanabe, Y. 2002. Growth and yield of sweet corn with legume living mulches. *Japanese Journal of Crop Science* **71**, 36–42.
- Post, W.M., Kwon, K.C. 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology* **6**, 317–328.
- Reeuwijk, L.P. van. 2002 (ed.). Procedures for Soil Analysis. (6<sup>th</sup> ed). *Tech. Pap. 9*, ISRIC, Wageningen
- Reintam, E., Köster, T. 2006. The role of chemical indicators to correlate some Estonian soils with WRB and Soil Taxonomy criteria. *Geoderma* **136**, pp. 199–209.
- Russell, E.W. 1971. Soil structure: Its maintenance and improvement. *Journal of Soil Science* **22** (2), 137–150.
- Sánchez de Cima, D. Tein, B., Eremeev, V, Luik, A., Kauer, K., Reintam, E., Kahu, G. 2016. Winter cover crop effects on soil structural stability and microbiological activity in organic farming. *Biological Agriculture & Horticulture* **32** (3), 170–181.
- Schnürer, J., Rosswall, T. 1982. Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter. *Applied and Environmental Microbiology* **43** (6), 1256–1261.
- Statsoft. 2005. Statistica 7.0. Copyright 1984–2005. Tulka, OK, USA, 716 pp.
- Vorobyova, L.A. 1998. Chemical analysis of soils. Moscow: MSU, 271 pp.