

## **KARTULI KASVATAMISE MÕJU MULLA MIKROBIOLOOGILISELE AKTIIVSUSELE JA ORGAANILISE SÜSINIKU NING LÄMMASTIKU SISALDUSELE ERINEVATES VILJELUSVIISIDES**

**Viacheslav Eremeev, Jaan Kuht, Berit Tein, Liina Talgre, Maarika Alaru, Eve Runno-Paurson, Erkki Mäeorg, Evelin Loit, Anne Luik**

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

**Abstract.** Eremeev, V., Kuht, J., Tein, B., Talgre, L., Alaru, M., Runno-Paurson, E., Mäeorg, E., Loit, E., Luik, A. 2019. Soil microbial activity, content of organic carbon and total nitrogen depending on potato growing in different cropping systems. – *Agronomy* 2019.

*Five-year study of potato cultivation in two conventional and three organic systems has shown that organic systems enhanced the soil microbial hydrolytic activity and increased the content of organic carbon. Significant increase in organic systems was reached by using winter cover crops in combination with composted cattle manure. Content of total nitrogen was not correlated with soil microbial activity and was not dependent on the cropping system. In conventional systems the lower soil microbial activity is explained by the pesticide influence.*

**Keywords:** soil microbial hydrolytic activity, organic C, total N; cropping systems

### **Sissejuhatus**

Tava- ja maheviljelusviisis on põllukultuuride saagi kujundamiseks erinev lähenemine. Kui tavaviljeluse korral väetatakse taime, et saada võimalikult suur saak, siis maheviljeluse korral on eesmärgiks parandada mulla viljakust, ja erinevaid mulla bioloogilisi, keemilisi ja füüsikalisi omadusi, kasutades orgaanilisi väetisi (Baldwin, 2006). Mulla füüsikaliste ning keemiliste näitajate kõrval pööratakse järjest suuremat tähelepanu mulla bioloogilistele näitajatele (sh mikroobsed ja ensümaatilised aktiivsused). Mulla mikroobne aktiivsus on muutustele mullas oluliselt tundlikum, kui muutused keemiliste ja füüsikaliste näitajate osas (Tejada jt, 2008; Oldare jt, 2008; 2011).

Kartul vajab juurte ja varte kasvuks ning mugulate moodustumiseks rohkesti toitaineid. Kartulikasvatusega mõjutatakse mulda kasvuperioodi jooksul väga intensiivselt (nt erinevad mahapaneku ja muldamismeetodid ning kemikaalide kasutamine). On leitud, et kartulikasvatuse järgselt väheneb mullas mikroobne aktiivsus (Šteinberga jt, 2012). Mulla mikroobide aktiivsuse allasurumine on ilmnunud tavaviljelusviisides, kus kartulikasvatuses teostati umbrohu- ja lehemädanikutõrjet herbitsiidide ja fungitsiididega (Niemi jt, 2009; Järvan jt, 2014). Herbitsiidid ja fungitsiidid võivad olla mulla mikroobidele otseselt toksilised või häirida liikidevahelisi tasakaalulisi suhteid, mis võib viia taimede kasvu pärssimisele (Vukicevich jt, 2016). Insektitsiidide kasutamine suurendab *Rhizoctonia* mädaniku esinemise sagedust kartulil, sest mullas on vähenenud teatud mullabakterite arvukus, mis tõstavad kartuli vastupidavust haigustele ja toimivad taimekasvu stimulaatoritena ning vähendavad nakatumist (Thornton jt, 2010). Kar-

tuli kasvatamisel orgaaniliste väetiste lisamine, nagu sõnnik, erinevad multsid ja haljasväetised, suurendavad orgaanilise aine kogust mullas, mis avaldab positiivset mõju mulla mikroobide aktiivsusele (Larkin, 2008; Larkin jt, 2010; Bhagat jt, 2016). Orgaanilise aine sisendi kogus ja kvaliteet mõjutavad nii mulla füüsikalisi-keemilisi omadusi kui ka mullaelustikuga seotud biotilisi tegureid, nagu mikrobialne biomass ja selle aktiivsus (Gomez jt, 2006; Gomiero jt, 2011; Bonilla jt, 2012). Haljasväetistest vahekultuuride kasutamisega on saadud bakteriaalsete populatsioonide ja mulla mikroobide aktiivsuse kasv ning soodne mõju ka mugula saagikusele (Larkin jt, 2010). Watson jt (2002) on leidnud, et suuremad orgaanilise aine kogused on suurendanud küll mulla mikroobide massi ja aktiivsust, kuid ei ole taganud ilmtingimata suuremat saagikust. See on sageli paratamatu, eriti maheviljeluses, kus taimede toitainete vajadus ei ole alati koosõlas toitainete kättesaadavusega.

Arvestades eeltoodut ja lähtudes vajadusest arendada kestlikke kartulikasvatuse viise, on väga oluline uurida, kuidas erinevad kasvatussüsteemid konkreetsetes tingimustes mõjutavad mulla mikroobide aktiivsust ja sellega seotud toiteelemente. Käesoleva uurimuse eesmärk oli selgitada eri viljelusviisides kartuli kasvatamise mõju mulla mikrobioloogilisele aktiivsusele (FDA hüdrolüüs), orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) ja üldlämmastiku ( $N_{üld}$ ) sisalduse muutustele võrrelduna kartuli eelvilja alt vabanenud ala vastavate näitajatega.

## Materjal ja meetodika

Pikaajaline põldkatse mahe- ja tavaviljelusviisi võrdluseks on rajatud 2008. aastal Eesti Maaülikooli taimekasvatuse ja taimebioloogia õppetooli Eerika katsepõllule (58°22'N, 26°40'E). Katses kasutatakse 5-väljalist külvikorda, kus kultuuride järjestus on: oder (*Hordeum vulgare* L.) punase ristiku allakülviga, punane ristik (*Trifolium pratense* L.), talinisu (*Triticum aestivum* L.), hernes (*Pisum sativum* L.), kartul (*Solanum tuberosum* L.). Artiklis käsitletakse perioodi 2012–2016 ehk külvikorra teist rotatsiooni.

Külvikorras olevaid kultuure väetati maheviljelussüsteemis orgaaniliste ja tavaviljelussüsteemis mineraalsete väetistega. Käesolevas artiklis analüüsiti nelja erinevat viljelusviisi kaks – maheviljelus- ja kaks tavaviljelusviisi. Maheviljelussüsteemis oli talviste vahekultuurideta viljelussüsteem (Mahe 0), mis järgib ainult külvikorda ning talviste vahekultuuride ja komposteeritud veisesõnnikuga (kevadell teraviljadele 10 t ha<sup>-1</sup>, kartulile 20 t ha<sup>-1</sup>) viljelussüsteem (Mahe II). Mahe II süsteemis külvati talviste vahekultuuridena pärast talinisu koristust talirukki (*Secale cereale* L.) ja talirapsi (*Brassica napus* L. var. *oleifera* L.) segu [2012. aastal oli üheaastane raihein (*Lolium multiflorum* Lam.)], pärast hernest taliraps ning pärast kartulit rukis. Maheviljeluse katselappidel mineraalväetisi ja sünteetilisi taimekaitsevahendeid ei kasutatud. Tavaviljelussüsteeme oli kaks – Tava 0 (kontroll, N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) ja Tava II (N<sub>150</sub>P<sub>25</sub>K<sub>95</sub>). Taimekaitsevahenditest kasutati umbrohutõrjeks herbitsiidi Titus (50 g ha<sup>-1</sup>), kartulimardikate vastu fungitsiide

Fastac 50 (0,3 l ha<sup>-1</sup>) ja Decis 2,5 EC (0,2 l ha<sup>-1</sup>). Lehemädaniku tõrjet teostati kahel-kolmel korral: Ridomil Gold MZ 68 WG (2,5 kg ha<sup>-1</sup>) ning Ranman (0,2 kg ha<sup>-1</sup>) koos Ranman aktivaatoriga (0,15 l ha<sup>-1</sup>). Mullaharimine oli tüüpiline kartuli kasvatusesele, kus mõlemal katseaastal äestati üks kord ning mullati kolm korda.

Katsed tehti varajase kartulisordiga 'Maret', mugulate vaheline kaugus vaos oli 25 cm ja vagude vaheline laius 70 cm. Seemnemugulateks kasutati mugulaid läbimõõduga 35–55 cm. Kartuli kogusaagi leidmiseks kaaluti kohe pärast koristust 15-ne järjestikku paikneva taime mugulad.

Katsed viidi läbi neljas korduses ja iga katselapi suurus oli 60 m<sup>2</sup>. Katseala mullastik oli näivleetunud (*Stagnic Luvisol*) WRB klassifikatsiooni järgi (Deckers jt, 1998), lõimiselt kerge liivsavi, huumuskihi tusedusega 20–30 cm (Reintam ja Köster, 2006).

Täpne mulla mikroobide hüdrofüütilise aktiivsuse määramise meetodika on kirjeldatud artiklis (Sánchez de Cima jt, 2016). Mulla pH määrati 1M KCl lahuses (vahekord (1:2.5), mulla orgaaniline süsinik määrati Tjurini meetodil (Soil Survey Laboratory Staff, 1996). Mulla üldlämmastiku sisaldus määrati Kjeldahli meetodil (Procedures for Soil Analysis, 2005).

Andmete statistiline analüüs tehti programmiga Statistica 13 (Quest Software Inc). Katsevariantide mõju usaldusväärsust mulla mikroobide hüdrofüütilisele aktiivsusele ning orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku sisaldusele mullas analüüsiti ühefaktorilise ANOVA abil, variantide erinevuste võrdluses kasutati Fisher's LSD post-hoc testi ( $p = 0,05$ ) ja tehti ka regressioon- ja korrelatsioonanalüüsid.

## Tulemused ja arutelu

Kõige kõrgem mulla FDA näitaja mõõdeti 2012–2016 katseaastate keskmisena enne kartuli kasvatamist maheviljelussüsteemis, kus kasvatati vahekultuure ja mulda väetati sõnnikuga (Mahe II) (tabel 1). Kõrgeim mulla mikroobide aktiivsus Mahe II süsteemis seletub nii vahekultuuride kui ka kompostitud sõnniku mõjuga. Kompostitud veisesõnnikuga viiakse mulda mitte ainult toitaineid, vaid ka hulgaliselt erinevaid mikroobe. Ka Edesi jt (2012) täheldasid oma uurimustes pikaajaliste külvikordade ja orgaaniliste väetiste positiivset mõju mulla mikrobioloogilisele kooslusele ja nende aktiivsusele.

Kartuli kasvatamine vähendas aastate keskmisena mulla mikroobide hüdrofüütilist aktiivsust kõikides viljelussüsteemides. Kõige väiksem kartuli-järgne FDA vähenemine ilmnis viljelusviisis Tava 0 – 0,8% võrra ( $p = 0,786$ ). Suurimat mulla mikrobioloogilise aktiivsuse langust täheldati Tava II foonil, kus FDA vähenes pärast kartulit 10,7% ( $p < 0,001$ ) ulatuses. Mahedates viljelussüsteemides toimus FDA vähenemine Mahe 0 1,2% ( $p = 0,34$ ) ja Mahe II 3,5% ( $p = 0,28$ ) võrra. Madalaimad mulla FDA väärtused olid kõikidel aastatel väeta-

mata, kuid keemilise umbrohutõrjega, tavaviljelusega kontrollalal Tava 0 ( $p < 0,001$ ). Ka Madsen jt (2016) leidsid, et väetamata katsealadel, kus kasutati pestitsiide, olid FDA väärtused kõige väiksemad. Seda kinnitab ka asjaolu, et maheviljelussüsteemide väetamata kontrollalal Mahe 0, kus taimekaitsevahendeid ei kasutatud, olid mulla FDA väärtused 15% võrra ( $p < 0,001$ ) tavaviljeluse Tava 0 omast suuremad (tabel 1). Meie tulemused kinnitavad varasemaid uurimistulemusi, et taimekaitsevahendite jäägid mullas pärsivad mulla elustikku ja suruvad alla mikroorganismide aktiivsust (Makaw jt, 1979; Angelini jt, 2013).

**Tabel 1.** Kartuli kasvatamise mõju mulla mikroobide hüdrofüütilisele aktiivsusele (FDA,  $\mu\text{g}$  fluorestseiini  $\text{g}^{-1}$  kuiva mulla kohta  $\text{h}^{-1}$ ), orgaanilise süsiniku ( $C_{\text{org}}$ , %) ja üldlämmastiku ( $N_{\text{üld}}$ , %) sisaldusele mullas ning mulla süsiniku ja lämmastiku suhe (C/N suhe) 2012–2016 aastate keskmisena

Viljelusviis	FDA	$C_{\text{org}}$ , %	$N_{\text{üld}}$ , %	C/N suhe
Enne kartulit				
Tava 0	44,4 <sup>A</sup>	1,32 <sup>A</sup>	0,103 <sup>A</sup>	13,0 <sup>B</sup>
Tava II	53,7 <sup>B</sup>	1,41 <sup>A</sup>	0,113 <sup>A</sup>	12,6 <sup>AB</sup>
Mahe 0	53,1 <sup>B</sup>	1,52 <sup>B</sup>	0,132 <sup>B</sup>	11,8 <sup>A</sup>
Mahe II	59,6 <sup>C</sup>	1,61 <sup>B</sup>	0,135 <sup>B</sup>	12,1 <sup>AB</sup>
Pärast kartulit				
Tava 0	44,1 <sup>A</sup>	1,27 <sup>A</sup>	0,095 <sup>A</sup>	13,5 <sup>A</sup>
Tava II	48,0 <sup>B*</sup>	1,43 <sup>B</sup>	0,108 <sup>A</sup>	13,5 <sup>A</sup>
Mahe 0	51,9 <sup>C</sup>	1,53 <sup>BC</sup>	0,125 <sup>B</sup>	12,4 <sup>A</sup>
Mahe II	57,5 <sup>D</sup>	1,58 <sup>C</sup>	0,130 <sup>B</sup>	12,5 <sup>A</sup>

Erinevad suured tähed tähistavad statistilist olulist erinevust viljelusviiside vahel (Fisher LSD test,  $p < 0,05$ ). \* tähistavad statistilist olulist erinevust väärtuste vahel enne ja pärast kartulit (Fisher LSD test,  $p < 0,05$ )

Maheviljelussüsteemides tõusis mulla  $C_{\text{org}}$  sisaldus. Kartuli mahapaneku eel võetud proovides oli mulla  $C_{\text{org}}$  sisaldus maheviljelussüsteemides aastate keskmisena 14,6% ( $p < 0,001$ ) ja kartulijärgselt 15,6% ( $p < 0,001$ ) võrra tavaviljelusest suuremad. Pärast kartuli kasvatamist, võrreldes eelsega,  $C_{\text{org}}$  sisalduses olulisi usaldusväärseid muutusi ei ilmnenud ( $p > 0,05$ ). Võrreldes kartulieelse mulla  $C_{\text{org}}$  sisaldusega ilmnes pärast kartuli kasvatamist Tava 0 alal aastate keskmisena 3,8% vähenemise tendents ( $p = 0,208$ ).

Uurimisalused maheviljelussüsteemid mõjutasid kasvualade mulla  $N_{\text{üld}}$  sisaldust positiivselt. Kartuli mahapaneku eelselt võetud proovides oli mulla  $N_{\text{üld}}$  sisaldus maheviljelussüsteemides aastate keskmisena 18,8% võrra ( $p < 0,001$ ) tavaviljelusest suuremad (tabel 1). Kartuli kasvatamise järgselt jäi mahesüsteemide mulla  $N_{\text{üld}}$  sisaldus 20,3% võrra ( $p < 0,001$ ) suuremaks kui tavaviljeluses. Aastate keskmisena ilmnes tendents ( $p > 0,05$ ), et kartuli kasvatamine vähendas lämmastiku sisaldust mullas kõigis viljelussüsteemides. Tavaviljelusega aladel oli kartuli kasvujärgse mulla  $N_{\text{üld}}$  sisaldus 6,1% ( $p < 0,001$ ) ja mahealadel 3,0% ( $p < 0,001$ ) võrra väiksemad kui enne kartuli mahapanekut. Suurim  $N_{\text{üld}}$  sisalduse

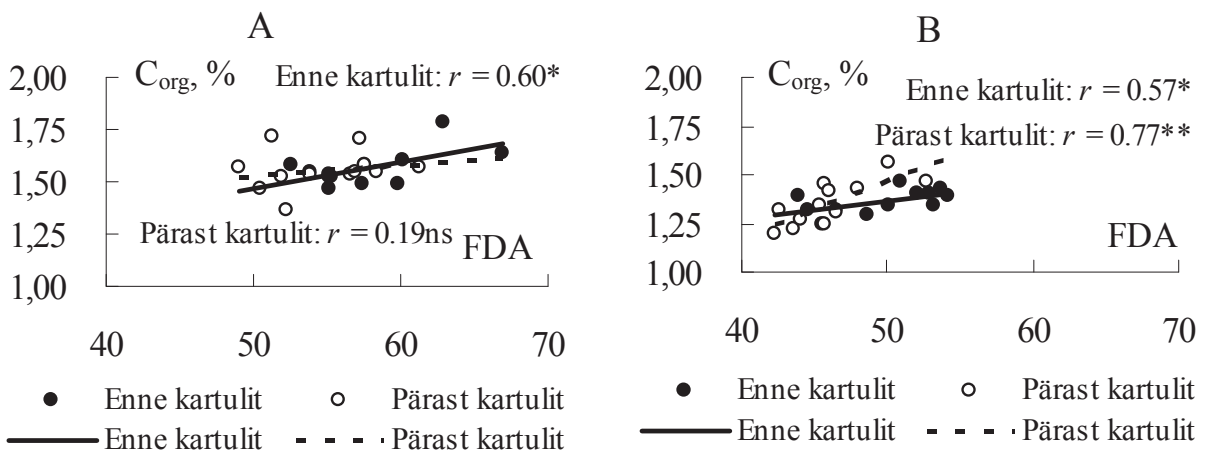
vähenedamine toimus väetamata Tava 0 mullas 7,8% ( $p = 0,014$ ).

Viljelusviiside mõju mulla C/N suhetele olulist mõju ei avaldanud (tabel 1). Enne kartulit võetud mullaproovides ilmnes usutav erinevus vaid mõlema väetamata viljelusviiside foonil, kus Tava 0 alade C/N suhe oli 9,3% võrra ( $p = 0,152$ )  $C_{org}$  alade omast suurem. Kuid siiski oli kartuli kasvatamise järgselt võrreldes selle eelsega märgata C/N suhte mõningast ( $p = 0,085$ ) suurenemist kõikides viljelusviisides.

Mulla orgaanilise aine sisalduse ja mulla mikroobide aktiivsuse vaheline usutav seos maheviljeluses avaldus ainult enne kartulit võetud mullaproovide põhjal (joonis 1, A) – korrelatsioon enne kartuli kasvatamist  $C_{org}$  ja FDA vahel oli  $r = 0,60$ ;  $p < 0,05$ . Tavaviljelusviisides korrelatsioon enne kartuli kasvatamist  $C_{org}$  ja FDA vahel oli  $r = 0,57$ ;  $p < 0,05$  (joonis 1, B). Pärast kartuli kasvatust oli seos tugev,  $r = 0,77$ ;  $p < 0,01$ . Seega, mulla  $C_{org}$  sisaldus mõjutas kartuli kasvatamise järgselt mulla FDA usutavalt vaid tavaviljelussüsteemis.

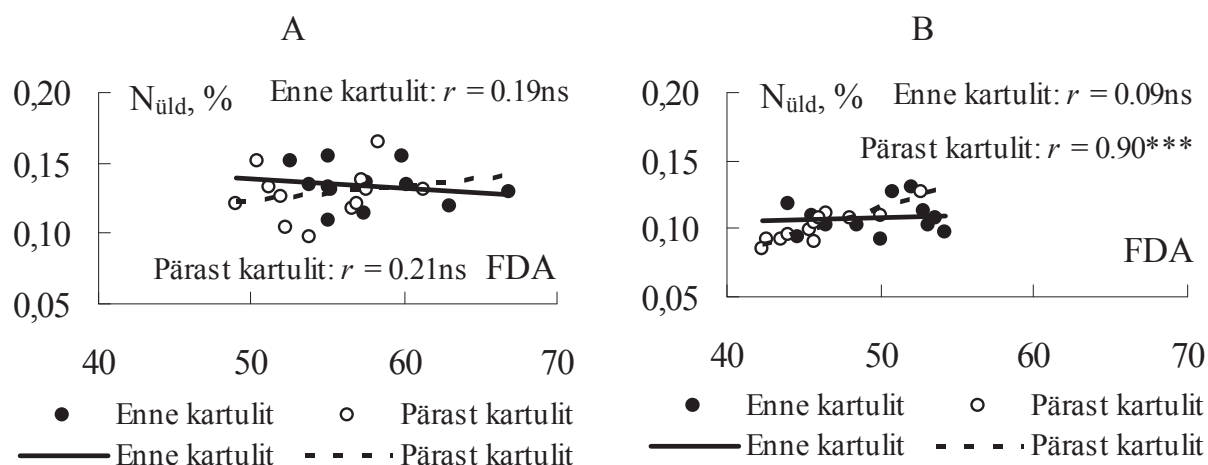
Usutav seos mulla FDA ja  $N_{üld}$  sisalduse vahel ilmnes ainult kartuli kasvatusjärgsel määramisel, kus tavaviljeluse alade mulla FDA ja  $N_{üld}$  vaheline korrelatsioon oli tugev,  $r = 0,90$ ;  $p < 0,001$  (joonis 2, B). Seega, mulla FDA ei mõjutanud kartuli kasvatamisel mulla  $N_{üld}$  sisaldust kummaski viljelussüsteemis.

Maheviljeluse süsteemid, eriti süsteem, kus kasutati lisaks kompostitud sõnnikut (Mahe II), näitasid selgelt mulla mikroobide kõrgemat aktiivsust ja selle seost  $C_{org}$  sisaldusega. Nende süsteemide katsete varasemad tulemused on näidanud, et mahe süsteemides olid vahekultuuride ja kompostitud veisesõnniku toimel oluliselt paranenud ka mulla füüsikalised näitajad: suurenenud oli mulla veehoiuvõime ja vee läbilaskvus (Talgre jt, 2015). Vee läbilaskvuse suurenemine vähendab põldudel loikude teket ning suurendab seega vastupidavust põuale. Võrreldes tavaviljelussüsteemidega soodustas vahekultuur maheviljeluslikus



**Joonis 1.** Mulla mikroobide hüdrolüütilise aktiivsuse (FDA,  $\mu\text{g}$  fluorestseini  $\text{g}^{-1}$  kuiva mulla kohta  $\text{h}^{-1}$ ) sõltuvus orgaanilise süsiniku ( $C_{org}, \%$ ) sisaldusest mullas maheviljelussüsteemis (A) ja tavaviljelussüsteemis (B) enne ja pärast kartuli kasvatamist





**Joonis 2.** Mulla mikroobide hüdrolüütilise aktiivsuse (FDA,  $\mu\text{g}$  fluorestseiini  $\text{g}^{-1}$  kuiva mulla kohta  $\text{h}^{-1}$ ) sõltuvus üldlämmastiku ( $\text{N}_{\text{üld}}$ , %) sisaldusest mullas maheviljelussüsteemis (A) ja tavaviljelussüsteemis (B) enne ja pärast kartuli kasvatamist

süsteemis usaldusväärset ka jooksiklaste esinemise sagedust, kes on maapinnal liikuvad taimekahjurite looduslikud vaenlased (Kruus jt, 2012). Jooksiklastel on väga suur roll kahjurputukate arvukuse reguleerimisel. Sarnaselt on leitud maheviljeluse vaheskultuuriga variandil märkimisväärset vähem kartuli kuivlaikusest kahjustatud lehestikku (Runno-Paurson jt, 2014). Talviste vaheskultuuridega aladel vähenes usutavalt ka mulla umbrohuseemnete sisaldus (Kuht jt, 2016). Vaheskultuuride kõrget efektiivsust umbrohtude allasurumisel on täheldanud ka Liebman ja Dyck (1993) ning Miura ja Watanabe (2002).

Seega võrreldes tavaviljelussüsteemidega, avaldasid mahesüsteemid, eriti Mahe II, mõju looduslike hüvede paranemisele: suurenes elurikkus ja aktiveerusid mullaprotsessid ning mullas tõusis  $\text{C}_{\text{org}}$  ja  $\text{N}_{\text{üld}}$  sisaldus.

## Kokkuvõte

Viie katseaasta (2012–2016) keskmised tulemused näitavad, et võrreldes tavasüsteemidega on maheviljelussüsteemidel eelised kestlikuks taimekasvatuseks. Viljelussüsteemi mitmekesistamine vaheskultuuride ja lisaks veel kompostitud veisesõnnikuga, võimaldab oluliselt parandada mulla omadusi. Tõusis mulla mikroobide aktiivsus, mulla orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku sisaldus. Mulla mikroobide aktiivsuse ja üldlämmastiku sisalduse vahelised seosed aga vajavad jätkuvaid uuringuid.

## Tänuavaldused

Artikkel on valminud ERA-NET Core organic projekti FertilCrop, Eesti Maaülikooli baasfinantseerimise projektid 8-2/T13001PKTM, P180273PKTT, institutsionaalse uurimistoetuse projekti IUT36-2.

## **Kasutatud kirjandus**

- Angelini, J., Silvina, G., Taurian, T., Ibanez, F., Tonelli, M.L., Valetti, L., Anzuay, M.S., Luduena, L., Munoz, V., Fabra, A. 2013. The effect of pesticides on bacterial nitrogen fixers in peanut growing area. – *Archives of Microbiology*, 195(10–11), pp. 683–692.
- Baldwin, K.R. 2006. Soil Fertility on Organic Farms. Organic Production – *Soil Fertility on Organic Farms*. <http://cefs.ncsu.edu> (10.01.2019).
- Bhagat, P., Gosal, S.K., Singh, C.B. 2016. Effect of mulching on soil environment, microbial flora and growth of potato under field conditions. – *Indian Journal of Agricultural Research*, 50(6), pp. 542–548.
- Bonilla, N., Cazorla, F.M., Martínez-Alonso, M., Hermoso, J.M., González-Fernández, J., Gaju, N., Landa, B.B., de Vicente, A. 2012. Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity, and biomass in avocado crop soils. – *Plant and Soil*, 357(1–2), pp. 215–226.
- Deckers, J.A., Nachtergale, F.O., Spaargarn, O.C. (eds). 1998. World Reference Base for Soil Resources: Introduction. First edition. FAO, Acco Leuven, 165 pp.
- 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, pp. 1–12.
- Gomez, E., Ferreras, L., Toresani, S. 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. – *Bioresource Technology*, 97, pp. 1484–1489.
- Gomiero, T., Pimentel, D., Paoletti, M.G. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional versus organic agriculture. – *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30, pp. 95–124.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A., Võsa, T. 2014. Soil microbial communities and dehydrogenase activity depending on farming systems. – *Plant, Soil and Environment*, 60(10), pp. 459–463.
- Kruus, M., Kruus, E., Luik, A. 2012. Viljelusviisi mõju jooksiklaste liigirikkusele. – *Teaduselt mahepõllumajandusele*, lk. 53–55.
- 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, pp. 1372–1379.
- Larkin, R.P. 2008. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and diseases of potato. – *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6), pp. 1341–1351.
- Larkin, R.P., Griffin, T.S., Honeycutt, C.W. 2010. Rotation and cover crop effects on soilborne potato diseases, tuber yield, and soil microbial communities. – *Plant Disease* 94, pp. 1491–1502.
- Liebman, M., Dyck, E. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. – *Ecological Applications*, 3, pp. 92–122.
- Makaw, A.A., Abdel-Nasser, M., Abdel-Moneim, A.A. 1979. Effect some pesticides on certain micro-organisms contributing to soil fertility. – *Zentralbl Bakteriolog Naturwiss*, 134(1), pp. 5–12.

- Miura, S., Watanabe, Y. 2002. Growth and yield of sweet corn with legume living mulches. – *Japanese Journal of Crop Science*, 71, pp. 36–42.
- Niemi, R.M., Heiskanen, I., Ahtiainen, J.H., Rahkonen, A., Mäntykoski, K., Welling, L., Laitinen, P., Ruuttunen, P. 2009. Microbial toxicity and impacts on soil enzyme activities of pesticides used in potato cultivation. – *Applied Soil Ecology*, 41, pp. 293–304.
- Oldare, M., Pell, M., Svensson, K. 2008. Changes in soil chemical and microbiological properties, during 4 years of application of various organic residues. – *Waste Management*, 28, pp. 1246–1253.
- Oldare, M., Arthurson, V., Pell, M., Svensson, K., Nehrenheim, E., Abubaker, J. 2011. Land application of organic waste – Effects on the soil ecosystem. – *Applied Energy*, 88(6), pp. 2210–2218.
- Procedures for Soil Analysis. 2005. (ed) L.P. van Reeuwijk, 5th edn. Wageningen, 112 pp.
- 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.
- Runno-Paurson, E., Hansen, M., Tein, B., Loit, K., Luik, A., Metspalu, L., Eremeev, V., Williams, I.H., Mänd, M. 2014. Cultivation technology influences the occurrence of potato early blight in an organic farming system. – *Žemdirbyste-Agriculture*, 101(2), pp. 199–204.
- 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: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 32(3), pp. 170–181.
- Soil Survey Laboratory Staff. 1996. Soil survey laboratory methods manual. – *Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0*. National Soil Survey Center, NE, USA.
- Šteinberga, V., Mutere, O., Jansone, I., Alsiò, I., Dubova L. 2012. Effect of buckwheat and potato as forecrops on soil microbial properties in crop rotation. – *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Natural Exact and Applied Sciences*, 66(4/5), pp. 185–191.
- Talgre, L., Eremeev, V., Reintam, E., Tein, B., Sanches de Cima, D., Madsen, H., Alaru, M., Luik, A. 2015. Talvised vahekultuurid parandavad mulda ja kultuuride saagikust. – *Agronomía 2015*, lk. 40–44.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcia-Martinez, A.M., Parrado, J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. – *Bioresource technology*, 99(6), pp. 1758–1767.
- Thornton, M., Miller, J., Hutchinson, P., Alvarez, J. 2010. Response of potatoes to soil-applied insecticides, fungicides, and herbicides. – *Potato Research*, 53(4), pp. 351–358.
- Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J.R., Hart, M. 2016. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. – *Agronomy for Sustainable Development*, 36: pp. 48–53.
- Watson, C.A., Atkinson, D., Gosling, P., Jackson, L.R., Rayns, F.W. 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. – *Soil Use Management*, 18, pp. 239–247.