

Agraarteadus
1 * XXIX * 2018 1–11



Journal of Agricultural Science
1 * XXIX * 2018 1–11

SÕNNIKU MÕJUST MAHEVILJELUSLIKULT MAJANDATAVAS KÜLVIKORRAS

THE IMPACT OF MANURE APPLICATION IN THE ORGANICALLY MANAGED CROP ROTATION

Malle Järvan

Eesti Taimakasvatuse Instituut, agrotehnoloogia osakond
Teaduse 4/6, 75501 Saku, Harjumaa

Saabunud: 27.03.2018
Received:
Aktsepteeritud: 23.04.2018
Accepted:
Avaldatud veebis: 24.04.2018
Published online:
Vastutav autor: Malle Järvan
Corresponding author:
E-mail: malle.jarvan@etki.ee

Keywords: cattle farmyard manure, crop yields, organic carbon, plant nutrients, soil bacteria.

doi: 10.15159/jas.18.1

ABSTRACT. Organic agriculture is a production system which relies on ecological processes. In the organic farming systems, it is important to improve soil fertility and to protect soil physical condition for its healthy functioning. The benefit from organically cultivated crops is strongly related to the maintenance of soil fertility based to a great extent on the soil organic matter content. Farmyard manure is one of the more valuable organic fertilizers maintaining soil fertility in the systems of alternative agriculture. To investigate the influence of manure from several aspects, a field experiment was carried out on a sandy loam *Luvisol*. A five-year crop rotation (potato (*Solanum tuberosum* L.) → oat (*Avena sativa* L.) → spring barley (*Hordeum vulgare* L.) → red clover (*Trifolium pretense* L.) → winter rye (*Secale cereale* L.) was organically managed without manure (Org I) and with manure (Org II) treatments. 8.3 t ha⁻¹ of organic dry matter as straw-based cattle farmyard manure was ploughed into the soil for potato grown the next year. During a seven-year experimental period, no significant ($p > 0.05$) changes were found in the soil organic carbon content. For the Org I treatment, a significant decrease in potassium, copper and boron contents in the soil occurred. The application of manure counterbalanced the need for potassium, and significantly increased the contents of phosphorus and magnesium in the soil. Manure stimulated microbial life in the soil: the communities of cellulose-decomposing bacteria, nitrifying bacteria and total bacteria increased significantly. Under the influence of manure, the yields of potato, oat and barley increased by 52, 23 and 10%, respectively; this allowed us to gain an extra 30 GJ metabolizable energy during the crop rotation. In organic farming systems, the regular application of solid farmyard manure is recommendable for the maintaining and improving the status of available nutrients and microbial activities in the soil, and for the economic profitability.

© 2018 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. Kõik õigused kaitstud. 2018 Estonian Academic Agricultural Society. All rights reserved.

Sissejuhatus

Maheviljelus kui tootmissüsteem rajaneb pigem ökosüsteemi juhtimisel, st ökoloogiliste protsesside ära kasutamisel ja suunamisel, niivõrd mitte väljapoold süsteemi põllumajanduslike sisendite juurde toomisest (Foissy jt, 2013). Maheviljelussüsteemide edukaks funktsioneerimiseks on eelkõige vaja, et säiliks ja paraneks mulla viljakus ning ei toimuks mulla toitainevarude väljakurnamist. Samal ajal peab olema tagatud

ka mulla füüsikaliste omaduste ja tervisliku seisundi säilimine (Bakšiené jt, 2014).

Põllumajanduslike ökosüsteemide pikaajalise kestlikuse tagamiseks on ülioluline, et säiliks mulla orgaanilise aine varud. Mulla potentsiaalse viljakuse säilitamine ja parandamine on tihedalt seotud mulla orgaanilise aine ja orgaanilise süsiniku bilansiga (Bakšiené jt, 2014). Orgaaniline aine mängib väga tähtsat rolli mulla füüsikaliste (lõimis, struktuur, lasuvustihedus, veehoidmisvõime), keemiliste (toitained ja nende kättesaadavus jm) ja bioloogiliste (mikroorganismide tegevus,

mineraliseerumisprotsessid jm) omaduste säilimisel ja paranemisel (Fageria, 2012).

Mulla orgaanilise aine varude täiendamise headeks vahenditeks on haljasväetised, sõnnik jm orgaanilised materjalid (Bakšienė jt, 2014). Regulaarselt mulda viidav orgaaniline materjal, eriti kui see on komposteeritud, suurendab toiteelementide varude täiendamise kõrval ka nn füüsikalist viljakust, sest väheneb mulla lasuvustihedus, suureneb veemahutavus ja paraneb mullaagregaatide stabiilsus (Diacono, Montemurro, 2010; Blanco-Canqui jt, 2015). Orgaaniliste materjalide mõju mulla füüsikalistele omadustele oleneb löimisest. Nii näiteks savimullal veisesõnnik, juba alates kogusest 5 t ha⁻¹ aasta kohta, suurendas usutavalt ($p < 0,05$) nii orgaanilise süsiniku sisaldust kui ka makroagregaatide stabiilsust, aga liivmullal ei mõjutanud sõnnik mullaagregaatide stabiilsust ja mulla lasuvustihedust (Dunjana jt, 2012).

Orgaaniliste väetistega antavad ja mullavarudes sisalduvad raskesti lahustuvad toiteelemendid muutuvad taimedele kättesaadavaks paljude mikroobigruppide kaasabil, kes osalevad mitmesugustes tegevustes ja protsessides – taimejäätmete lagundamine ja mineraliseerimine, taimetoitainete immobiliseerimine (st liikumatuks muutmine, sidudes neid ajutiselt mikroobide kehades), ümbertöötlemine ja vabastamine vastavalt taimede vajadustele jm (Bünemann jt, 2006). Mitmesuguste orgaaniliste materjalide, sealhulgas sõnniku, mulda viimine tagab otseselt mullaorganismide tegevuseks vajaliku süsiniku (Bünemann jt, 2006). Põhiline mõjur, mis juhib ja reguleerib mikroobse biomassi taset mullas, ongi mulla orgaaniline aine, tähtsusetult järgmine tegur mikroobide aktiivsuse mõjutajana on mulla pH (Wardle, 1992; Bünemann jt, 2006). Uuringud on näidanud, et maheviljelus, eriti kui sellega kaasneb orgaaniliste väetiste kasutamine, soodustab mullaorganismide mitmekesisust, arvukust ja bioloogilist aktiivsust (Stockdale, Watson, 2009; Watts jt, 2010; Edesi jt, 2012; Järvan jt, 2014). Maheviljeluse printsiipide järgi majandatavatel põldudel mõjutab sõnniku andmine positiivselt mulla mikroobset biomassi, potentsiaalset nitrikatsioonitaset ja lämmastiku mineraliseerumist (Truu jt, 2008).

Käesoleva töö eesmärk oli selgitada sõnniku kasutamise kompleksset toimet maheviljeluse printsiipide kohaselt majandatavas viieväljalises külvikorras. Hüpoteesid olid järgmised: regulaarne tahesõnnikuga väetamine hoiab ära mulla orgaanilise süsiniku ja omastatavate taimetoitainete sisalduse languse; soodustab mikrobioloogilist tegevust mullas ning suurendab põllukultuuride saagikust.

Materjal ja meetodika

Põldkatsed viidi läbi aastail 2008–2014 Olustveres kahkjäl ehk näivleeturul mullal. Muld oli kerge liivsavi löimisega (liiv 61,6%, ibe 30,4%, savi 8,0%) ja hea viljakusega – mullaproovide keskmine katse rajamise eel (mai 2007): P_{Me3} 213 ja K_{Me3} 139 mg kg⁻¹, pH_{KCl} 6,0 ja orgaanilise aine sisaldus 2,78%. Sellel alal

oli Olustvere Teenindus- ja Maamajanduskooli õppetalu 2002. aastast alates rakendanud viieväljalist külvikorda maheviljeluslike printsiipide alusel, st pestitsiidide ja väetusainete ei kasutatud. Eesti Maaviljeluse Instituudi teadlastega koostöös pandi 2007. a kevadel paika stabiilse järjestusega külvikord. Pikad, 1,2 hektari suurused külvikorraväljad jagati erinevate viljelusviiside võrdlemiseks kolme võrdsesse ossa (á 0,4 ha). Võrreldi kaht maheviljeluse külvikorda – ühes (Org I) ei kasutatud sõnnikut, teises (Org II) anti kartulile sügiskünni alla tahetat veisesõnnikut. Väljade kolmandal osal rakendati tavaviljelust, st kasutati mõõdukas koguses mineraalväetisi ja pestitsiidide; seda viljelusviisi käesolevas artiklis ei käsitleta.

Kultuuride järjestus variantidel oli ühesugune: ristik, talirukis, kartul, kaer, oder ristiku allakülviga. Külvikorras haljasväetisena kasvatati punast ristikut (sordid 'Start' või 'Jõgeva 433', olenevalt aastast), mis külvati odra väljale allakülvina normiga 8 kg ha⁻¹ ja järgmisel suvel künti kogu taimemass mulda. Kuna selle projekti üheks eesmärgiks oli selgitada ka külvitiheduse mõju põllu umbrohtumusele, siis kõikide teraviljade puhul külvati pool välja laiusest ühe ja teine pool teise külvisenormiga. Rakendati järgmisi külvisenorme: talirukis 'Elvi' 450 ja 550, kaer 'Jaak' 400 ja 600, oder 'Anni' 300 ja 400 idanevat seemet m² kohta. Kartuli väljal kasvatati kõrvuti võõndites kaht erineva kasvatamisega sorti – keskvalmiv sort 'Laura' ja varajane sort 'Angela'. Käesolevas töös esitatakse saagiandmed 'Laura' kohta.

Kevadine mullaharimine algas libistamise ja kultiveerimisega. Kaer ja oder külvati, olenevalt ilmaoludest, aastati mõnevõrra erinevatel aegadel, vahemikus 19. aprill (2014) kuni 13. mai (2012). Umbes kuu aega pärast külvi äestati oraseid ökoakkega, vahetult enne seda tehti odrapõllul ristiku allakülv. Saagiarestused tehti viljavihkude baasil, mis võeti terade täisküpsuse faasis 0,5 × 0,5 m pinnalt neljas korduses (kaks kordust kummaltki külvitiheduselt). Suviteraviljad koristati kombainiga John Deere ajavahemikus 04. august (2010) kuni 18. september (2008). Teraviljapõhk jäeti purustatult põllule. Kaera koristamise järel tehti kõrrekoorimine (~17 cm) tüükultivaatoriga Kultus. Sügiskünd (~22 cm) tehti oktoobrikuus.

Rukis külvati valdavalt septembri esimesel kümme-päevakul. Sellel põlluosal oli juuni algul õitsemiseelses faasis olev ristiku mass purustatud, seejärel kamar tüükultivaatoriga töödeldud ning umbes augusti keskpaiku Kvernelandi pöördadraga ~22 cm sügavusele mulda küntud. Kevadel pärast mulla tahenemist äestati rukkioras ökoakkega. Rukis koristati kombainiga tavaliselt augusti esimesel kümme-päevakul, saagiarestused tehti eelnevalt võetud viljavihkude baasil. Pärast koristamist kooriti rukkipõld ühel või kahel korral tüükultivaatoriga ~17 cm sügavusele. Kuna külvikorras järgnes rukkile kartul, siis tavaliselt oktoobri algul veeti ja laotati ühele maheviljeluse (Org II) variandile tahetat veisesõnnikut normiga 60 t ha⁻¹. Sõnnik künti mulda kohe järgmisel päeval. Põhu allapanuga veisesõnnik pärines maheviljeluslikult tootvast talust. Sõnniku

toitainete sisaldus määrati igal aastal Põllumajandus-uuringute Keskuses, kasutades vastavat analüüsimetoodikat (Recommend Methods of Manure Analysis, A3769. Wisconsin, 2003).

Kartuliseeme eelidandati enne mahapanekut. Kartuli-põllu kevadine mullaharimine algas kultiveerimisega, millele järgnes sügavkobestamine 25 cm sügavuselt. 1–2 päeva enne kartuli mahapanekut aeti vaod sisse. Mugulad tihedusega umbes 50 000 tk ha⁻¹ pandi maha kaherealise masinaga, mugulate vahe reas ~25 cm. Kartulipaneku aeg olenes ilmastikutingimustest, see toimus ajavahemikus 23. aprill (2008) kuni 15. mai (2013). Kartulivagusid äestati kahel korral ning vahelhariti paarinädalase intervalliga kolmel või neljal korral. Maheviljeluse variantidel osutus mõnikord vajalikuks suuremate umbrohtude (põhiliselt põldpiimohaka ja põldohaka) kõplamisega hävitamine. Augusti viimasel kümmepäevakul võeti viljelusviiside variantidelt käsitsi üles kümne järjestikuse pesa mugulad kolmes korduses ning määrati kaubanduslike mugulate (> 35 mm) saak (t ha⁻¹). Septembris koristati põld kartulikombainiga.

Selleks, et võrrelda viieaastase külvikorra jooksul saadud kogusaake Org I ja Org II viljelusviiside puhul, arvutati kartuli, kaera, odra ja rukki keskmine (2008–2014) saagikus (t ha⁻¹) ümber metaboliseeruva energia (ME) ühikuteks (GJ ha⁻¹) (Oll, Tölp, 1997). Ristikut arvesse ei võetud, sest seda ei viidud põllult ära.

Teraviljade ja kartuli saakidest võeti keskmised proovid, millest Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboratooriumis määrati P, K, Ca ja Mg sisaldused. Analüüsitulemuste ja saagiandmete alusel arvutati põllult ära viidud elementide kogused. Igal aastal septembris võeti kõigil külvikorraväljadel viljelusviiside variantidelt 0–20 cm mullakihist keskmised proovid, mis veel samal aastal analüüsiiti Põllumajandusuuringute Keskuses (PMK) Mehlich 3 meetodil (Mehlich, 1984). Arhiveeritud mullaproovidest määrati hiljem Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboris alternatiivsete meetoditega fosfori, kaaliumi, kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused. Omastatav fosfor (P_{AL}) ja kaalium (K_{AL}) ekstraheeriti ammooniumlaktaadi lahuses pH 3,75 juures (Egner jt, 1960). P_{AL} määramiseks kasutati Tecator ASTN 9/84 (FiaStar5000). K_{AL} määrati samast lahusest, kasutades leekfotomeetrit. Liikuv magneesium ja kaltsium mullas ekstraheeriti 1 M ammooniumatsetaadi lahuses (pH 7,0) muld/lahuse vahekorras 1:10. Mulla magneesiumisisalduse (Mg_{NH₄OAc}) määramiseks kasutati Tecator ASTN90/92 (*Methods of soil analysis*, 1982). Ca_{NH₄OAc} määrati samast lahusest leekfotomeetriselt. Mulla pH määrati PMK-s 1 M KCl suspensioonist, mulla ja lahuse vahekord oli 10 g : 25 ml. Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus määrati PMK-s pärast kuivtuhastamist element-analüsaatoril (ISO 10694:1995).

Sõnniku mõju uurimiseks mulla mikrobioloogilistele protsessidele kartuli põllul (sõnniku otsemõju) ning kaera ja odra põldudel (1. ja 2. aasta järelmõju) võeti mullaproove septembris 2007–2010 ja 2013 ning aprillis 2009–2011. Mullaproovid võeti randomiseeritult 0–

20 cm kihist 1 cm läbimõõduga mullapuuriga kolmes korduses (2007 ja 2008 aastal ühes korduses). Analüüside tegemiseni hoiti proovid külmkapis 4 °C temperatuuril. Mikroobide määramised tehti PMK Taimetervise ja mikrobioloogia laboratooriumis vastavatel söötmetel. Käesolevas artiklis leiavad käsitlemist järgmised mikroobirühmad: bakterite üldarv Standard plate count agaril, denitriifitseerijad bakterid Hiltay söötmetel, nitriifitseerijad bakterid Vinogratski söötmetel, aeroobsed tselluloosilagundajad bakterid Hutchinsoni söötmetel. Mikroobide arvukus on esitatud ühikuna CFU (*colony-forming units* – kolooniaid moodustav ühik) g⁻¹ kuivas mullas.

Katseperioodi ilmastiku iseloomustamiseks kasutati Viljandi Meteoroloogiajaama andmeid (tabel 1). Kuna sõnniku mineraliseerumine, taimetoitainete dünaamika ja mikrobioloogilised protsessid mullas on nii vegetatsiooniperioodi kui ka sügis-talvise perioodi ilmastikust mõjutatavad, siis esitatakse andmed katseaastate kõikide kuude kohta. Aasta sademete koguhulga poolest vaesem oli 2013. aasta (578 mm), kõige sademerohkemad aga 2008. ja 2012. aasta (~915 mm). Vegetatsiooniperioodi (aprill–september) sademehulga poolest olid 2011. aasta (233 mm) ja 2013. aasta (283 mm) oluliselt vaesemad kui ülejäänud katseaastad (sademeid 422–484 mm) ja paljuaastane keskmine (412 mm). Erakordselt rohkest tuli sademeid 2008., 2010. ja 2014. aasta augustis. Vegetatsiooniperioodi keskmine õhutemperatuur oli madalaim (12,5 °C) 2008. aastal ning kõrgeim (14,2 °C) 2010. ja 2011. aastal, mil juuli temperatuur ületas paljuaastast keskmist lausa 3–5 °C võrra.

Katseandmed töödeldi statistiliselt dispersioonanalüüsi meetodil 95% usalduspiiri juures, kasutades andmetöötlusprogrammi Statistica 12 (Anova, Fisher LSD test, Statsoft, 2005).

Tulemused ja arutelu

Taimetoitainete sisaldus sõnnikus

Katseaastate keskmisena sai Org II variandi külvikord sõnnikunormiga 60 t ha⁻¹ taimetoitaineid järgmises koguses: N 286, P 61, K 164, Ca 130 ja Mg 56 kg ha⁻¹ ning mikroelementidest Cu 286, Mn 1224 ja B 201 g ha⁻¹ (tabel 2).

Sõnniku mõju mulla agrookeemilistele omadustele

Orgaaniline süsinik. Orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldus on tähtis mulla viljakuse ja kvaliteedi näitaja. Selle muutused mullas toimuvad üldiselt aeglaselt. Nii näiteks Körschens jt (1998) andmeil isegi väga ekstreemse väetamise korral muutus C_{org} sisaldus vaid napilt 0,01% võrra aastas. Ka Eesti põllumuldade seirest järeldus, et viimase 30 aasta jooksul oli muldade C_{org} sisaldus väga vähe muutunud (Tammik jt, 2018).

Alternatiivsetes taimekasvatuse süsteemides on mullaviljakuse tagamisel tahesõnnik üks väärtuslikumaid orgaanilisi väetisi, mis sisaldab rohkesti taimele vajalikke toitaineid ning milles oluline osa orgaanilisest materjalist on juba humifitseerunud. Lisaks makro- ja mikroelementidele satub sõnnikuga mulda ka

mitmesuguseid füsioloogiliselt aktiivseid aineid ja mikroorganisme (Masilionyté, Maikštėnienė, 2016).

Meie katses anti igal viendal aastal veisesõnnikut 60 t ha⁻¹ (kuivainena keskmiselt 8,3 t ha⁻¹). Kuna vaatlusperioodi pikkus oli vaid seitse aastat, siis selle aja jooksul ei ilmnenud statistiliselt usutavaid ($p > 0,05$) muutusi mulla C_{org} sisalduses. Siiski võis täheldada teatud tendentse: Org I variandi puhul C_{org} sisalduse (% mulla kuivaine kohta) vähenemise suunas (1,56 → 1,48) ning Org II puhul suurenemise (1,56 → 1,66) suunas. Seega võib üsna suure tõenäosusega oletada, et sõnniku jätkuv regulaarne kasutamine Olustvere mahekülvikorras suudab edaspidi tagada mulla C_{org} varude usutava suurenemise. Paljude teadlaste andmeid on sõnniku pikaajaline kasutamine üldreeglina suurendanud C_{org} sisaldust mullas (Dunjana jt, 2012; Fageria 2012; Šimon, Czako, 2014; Blanchet jt, 2016). Samas leidub ka teistsuguseid tulemusi: Saksamaal näivleeturid (*Luvisol*) mullal 45 aastat kestnud katses selgus, et külvikorras regulaarne sõnniku andmine (kuivainena

4,5 ja 9 t ha⁻¹ igal kolmandal aastal) ei suurendanud usutavalt ($p > 0,05$) mulla C_{org} sisaldust, küll aga suurenes oluliselt mikroobse biomassi süsinik (+86%), mulla hingamine ja ensüümide aktiivsus (Scherer jt, 2011).

Mulla pH. Eesti tingimustes, kus sademete hulk ületab aurumise, muutuvad mullad aja jooksul happelisemaks. Mullareaktsiooni (pH) languse tendentsi võis täheldada ka meie katse puhul. Seitsme aasta jooksul oli viie külvikorralja keskmine pH vähenenud Org I variandi mullas 0,18 ühiku võrra (5,92 → 5,74) ja Org II variandi mullas 0,14 ühiku võrra (6,12 → 5,98). Nende tulemuste alusel ei ole siiski võimalik teha lõplikke järeldusi sõnniku mõjust mullareaktsioonile. Kirjanduses leidub selle kohta erinevaid seisukohti. Nii näiteks on tahe-sõnniku kasutamine teatud määral suurendanud mulla pH-d (Whalen jt, 2000; Ondrašek, Čunderlik, 2008; Vašak jt, 2015), vedelsõnnik ja linnusõnnik aga muutnud seda happelisemaks (*Effects of manure...*, 2013). Üldiselt aga toimib sõnniku orgaaniline aine mullas pH-puhvrina (*Effects of manure ...*, 2013).

Tabel 1. Sademete hulk ja keskmine õhutemperatuur kuude lõikes aastail 2008–2014

Table 1. Monthly total precipitation and average air temperatures during 2008–2014

Kuu / Month	Aasta / Year							Paljuaastane keskmine Multiannual average 1981–2010
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Sademed / Precipitation, mm								
Jaanuvar / January	65	42	22	75	88	41	42	62
Veebruar / February	82	23	49	30	49	37	28	43
Märts / March	69	43	47	25	55	22	35	42
Aprill / April	52	17	35	11	53	44	15	36
Mai / May	22	17	53	58	62	75	88	48
Juuni / June	119	91	77	22	81	21	108	87
Juuli / July	48	136	43	66	92	51	72	83
August / August	177	95	143	84	107	78	155	91
September / September	66	66	108	68	79	14	30	67
Oktoober / October	91	128	49	54	91	51	56	81
November / November	76	77	101	42	94	83	23	64
Detsember / December	49	99	111	126	62	61	92	60
Kokku / Total	917	833	839	661	915	578	744	764
Temperatuur / Temperature °C								
Jaanuvar / January	-1,0	-2,8	-13,3	-4,2	-5,1	-6,6	-7,9	-4,4
Veebruar / February	0,8	-5,0	-7,9	-10,7	-10,3	-3,0	-0,4	-5,1
Märts / March	0,4	-1,2	-1,6	-1,5	0	-6,8	2,4	-1,0
Aprill / April	7,2	6,4	6,0	6,7	4,9	3,6	6,7	5,3
Mai / May	10,8	11,6	12,3	11,3	11,8	14,5	11,8	11,3
Juuni / June	14,6	13,9	14,7	17,8	13,7	18,0	13,7	14,9
Juuli / July	16,5	17,2	22,4	20,4	18,2	17,8	19,7	17,5
August / August	15,8	15,7	18,5	16,4	15,2	17,2	17,0	16,1
September / September	10,0	13,0	11,2	12,8	12,3	11,4	12,1	11,0
Oktoober / October	8,4	4,1	4,1	7,4	5,9	7,1	5,7	6,0
November / November	2,5	2,4	0,3	4,0	2,7	4,1	1,4	0,6
Detsember / December	-0,7	-4,7	-7,9	1,6	-6,7	1,8	-1,2	-3,1
Keskmine / Average	7,1	5,9	4,9	6,8	5,2	6,6	6,8	5,8

Tabel 2. Makro- ja mikroelementide ning kuivaine sisaldus veisesõnnikus aastail 2008–2012

Table 2. The content of macro- and microelements in cattle manure applied in 2008–2012

Aasta / Year	Kuivaine Dry matter %	Sisaldus sõnnikus / Content in manure							
		kg t ⁻¹					g t ⁻¹		
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	B
2008	16,6	4,72	0,75	2,92	2,17	0,74	3,40	16,8	3,09
2009	17,6	5,30	1,20	2,70	1,50	0,71	0,85	16,9	1,60
2010	15,1	6,30	1,20	2,80	2,00	1,30	5,00	20,6	4,50
2011	17,6	3,45	0,80	3,20	2,53	0,94	9,81	20,0	2,57
2012	16,3	4,05	1,15	2,35	2,66	1,02	4,81	27,6	4,99
2008–2012	16,6	4,76	1,02	2,77	2,17	0,94	4,77	20,4	3,35

Toiteelementide sisaldus. Mulla toiteelementide sisalduse trende jälgiti aastail 2008–2014 külvikorra viie välja keskmiste analüüsitulemuste alusel. Tabelis 3 on esitatud elementide sisaldused (\pm standardhälve) katseperioodi algul (2008) ja lõpul (2014), määratuna Mehlich 3 meetodil ja alternatiivsetel meetoditel. Mehlich 3 lahusega ekstraheerimisel olid fosfori, kaltsiumi ja magneesiumi sisalduste näitajad umbes kaks korda kõrgemad kui vastavalt ammoniumlaktaadi ja ammoniumatsetaadi väljatõmmetest.

Toitainetarbe gradatsiooni järgi oli mulla looduslik varustus fosforiga juba katse algul kõrge ning see tase oli säilinud väetamata variandis Org I ka pärast seitsme aasta pikkust kultuuride kasvatamist. Kui külvikorra kasutati sõnnikut, siis oli mulla fosforisisaldus vaatlusperioodi lõpuks usutavalt ($p < 0,05$) suurenenud. Org II variandi puhul oli fosforibilanss positiivne, sest külvikorra jooksul anti sõnnikuga P 61 kg ha⁻¹, kuid saakidega eemaldati P 43 kg ha⁻¹ (Järvan jt, 2017).

Kaaliumi osas toimus Org I variandis mulla väljakurnamine, sest vaatlusperioodi jooksul vähenes K_{Me3} sisaldus usutavalt. Bakšiené jt (2014) on samuti leid-

nud, et ekstensiivse viljelussüsteemi puhul, kus min-geid väetusaimeid ei kasutata, väheneb liikuva kaaliumi sisaldus mullas. Kaaliumi bilanss Org I külvikorras oli tugevalt negatiivne (–105 kg ha⁻¹), seejuures põhiline osa sellest kogusest (K 81 kg ha⁻¹) eemaldati kartuli saagiga (Järvan jt, 2017). Ereemeev jt (2017) andmeil kartuli kasvatamine mahepõllul vähendas mulla kaaliumi sisaldust 15% võrra. Org II variandi puhul anti külvikorra jooksul sõnnikuga mulda K 166 kg ha⁻¹, mistõttu täheldati nii K_{Me3} kui ka K_{AL} sisalduse suurenemise tendentsi. Org II variandi mullas oli katseperioodi lõpuks usutavalt ($p < 0,05$) suurenenud ka magneesiumi sisaldus. Seega suutis sõnnik korvata saakidega ära viidud (külvikorra jooksul K 149 kg ha⁻¹ ja Mg 16 kg ha⁻¹) kaaliumi ja magneesiumi kogused (Järvan jt, 2017).

Mulla mikroelementide sisaldus katseperioodi algul oli väetistarbe gradatsiooni alusel järgmine: vask (Cu) ja mangaan (Mn) – vajadus keskmine; boor (B) – vajadus väga suur. Seitsmeaastase katseperioodi jooksul vähenes Cu sisaldus usutavalt ($p < 0,05$) nii Org I kui ka Org II mullas. Samuti täheldati boorisalduse vähenemist mõlema katsevariandi muldades.

Tabel 3. Mulla toiteelementide sisaldus (mg kg⁻¹) katse algul (2008) ja lõpul (2014), määratuna erinevatel meetoditel
Table 3. The content of nutrient elements in the soil (mg kg⁻¹) at the beginning (2008) and at the end (2014) of the experiment

Element / Element	Variant Treatment	Mehlich 3 meetod / Mehlich 3 method			Alternatiivne ¹⁾ meetod / Alternative method		
		2008	2014	Muutus / Change	2008	2014	Muutus / Change
Fosfor (P) / Phosphorus	Org I	209 ± 9	211 ± 12	+2	72 ± 11	85 ± 12	+13
	Org II	195 ± 11	210 ± 14	+15*	68 ± 12	82 ± 10	+14*
Kaalium (K) / Potassium	Org I	133 ± 23	103 ± 15	-30*	104 ± 20	87 ± 21	-17
	Org II	140 ± 24	152 ± 33	+12	114 ± 23	133 ± 28	+19
Magneesium (Mg) / Magnesium	Org I	64 ± 14	75 ± 20	+11	33 ± 7	34 ± 8	+1
	Org II	64 ± 7	99 ± 21	+35*	35 ± 3	49 ± 9	+14*
Kaltsium (Ca) / Calcium	Org I	1148 ± 157	1168 ± 205	+20	632 ± 56	670 ± 67	+38
	Org II	1224 ± 120	1222 ± 131	-2	656 ± 51	716 ± 74	+59
Vask (Cu) / Copper	Org I	1,98 ± 0,17	1,78 ± 0,19	-0,20*			
	Org II	1,70 ± 0,10	1,52 ± 0,12	-0,18*			
Mangaan (Mn) / Manganese	Org I	118 ± 6	120 ± 8	+2			
	Org II	117 ± 10	116 ± 7	-1			
Boor (B) / Boron	Org I	0,44 ± 0,07	0,33 ± 0,05	-0,11*			
	Org II	0,45 ± 0,06	0,38 ± 0,07	-0,07			

Märkused / Notes: Org I – külvikord ilma sõnnikuta / crop rotation without manure application; Org II – külvikorras anti veisesõnnikut / in the crop rotation farmyard cattle manure was applied.

¹⁾ P ja K määramine ammoniumlaktaadi lahusest / ammonium lactate extractable P and K (Egner jt 1960); Mg ja Ca määramine ammoniumatsetaadi lahusest / ammonium acetate extractable Mg and Ca (Methods of soil analysis, 1982).

* Statistiliselt usaldusväärne erinevus / statistically significant difference ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test)

Sõnniku mõju mulla mikroobikooslusele

Taimede toitumise seisukohalt on väga olulised riso-sfääris tegutsevad mikroorganismid. Nad lagundavad mullas olevat orgaanilist materjali, varustavad taimi omastatavate toiteelementide ja mitmesuguste füsioloogilistelt aktiivsete, taimekasvu stimuleerivate ainetega (Bakšiené jt, 2014). Mikroobide arvukus ja aktiivsus sõltuvad keskkonnatingimustest, eelkõige mulla niiskusest ja temperatuurist (Lipson, 2007; Szukics jt, 2010; Lauber jt, 2013). On leitud, et isegi väga lühiajaline sademete ja temperatuurirežiimi muutumine kutsub esile kiireid ja suuri muutusi nii nitrifitseerijate kui ka denitrifitseerijate bakterite arvukuses (Avrahami jt, 2003; Szukics jt, 2010).

Mikroobide ruumiline levimus mullas on ebahühtlane, selle põhjuseks võivad olla mullaviljakuse erinevused

(Franklin, Mills, 2009; Koorem jt, 2014). Koorem jt (2014), uurides mikroobirühmade ja taimetoitainete dünaamikat looduslikes metsamuldades, leidsid, et vegetatsiooniperioodi alguses (maikuu) oli mikroobide arvukus ja omastatavate taimetoitainete sisaldus suur, kuid taimekasvuperioodi jätkudes (juulis) ilmutasid mõlemad näitajad languse tendentsi. Mikroobide arvukus sõltub mulla orgaanilise süsiniku sisaldusest ning orgaaniliste väetiste kasutamisest (Scherer jt, 2011; Miller jt, 2012). Eriti soovitatavaks peetakse komposteeritud sõnniku kasutamist, mis suurendab mullas bioloogilist mitmekesisust, kutsudes esile positiivseid muutusi mikroobide koosluses, arvukuses ja aktiivsuses (Watts jt, 2010).

Käesolevas töös vaadeldi kuidas mõjutab laagerdunud veisesõnniku sügiskünni alla andmine teatud

mikroobigruppide (bakterite üldarv, denitrifitseerijad, nitrifitseerijad ja tselluloosilagundajad bakterid) arvukust mullas järgmisel aastal kartuli väljal (sõnniku otsemõju) ning ülejäämistel aastatel kaera ja odra väljadel (sõnniku järelmõju).

Bakterid moodustavad valdava osa mulla mikroorganismidest, nad täidavad olulist ökoloogilist rolli kõikides mullas toimuvates protsessides, sealhulgas toitainete ringluses (Nannipieri jt, 2003). Meie katse puhul võis täheldada, et aprillikuus – vahetult enne mullaharimise alustamist – kartuli väljalt võetud mullaproovides oli bakterite üldarv oluliselt väiksem kui sama aasta sügisel võetud mullaproovides (tabel 4). See oligi üldiselt ootuspärane, sest jahe muld ei soodusta mikrobioloogiliste protsesside käivitumist. Eelmisel sügisel sisse küntud sõnniku mõjul (Org II variant) oli bakterite üldarv mullas 2009. ja 2011. aasta kevadel oluliselt suurem kui kontrollvariandis (Org I), 2010. aasta puhul aga sõnnikul selline toime puudus. Kui võrrelda sõnniku toime erinevusi 2009. ja 2010. a kevadel, siis võib arvata, et põhjus peitub ilmastikus, eelkõige temperatuuritingimustes, mis teatavasti oluliselt mõjutavad mikroobide tegevust. 2009. aasta kevadele eelnenud talv ja hilissügis (2008) olid märksa soojemad kui 2010. a kevadele eelnenud perioodid (tabel 1). Erakordselt soe oli 2009. a aprillikuu teine pool ($> +10\text{ }^{\circ}\text{C}$), seetõttu võiski sõnnikuga väetatud soojas mullas toimuda väga kiire bakterite paljunemine, millele viitab ka nii denitrifitseerijate, nitrifitseerijate kui ka tselluloosilagundajate bakterite arvukuse järsk tõus. Katseaastate jooksul võetud mikroobiproovide keskmisena selgus, et sõnniku otsemõjul esines mullas tendents bakterite üldarvu suurenemisele, kuid see ei olnud 95% tõenäosuse juures statistiliselt usutav.

Denitrifitseerijate bakterite tegevusel on negatiivne mõju keskkonnale, sest nitraatide taandamise tulemusena tekib oluline lämmastiku kadu, samal ajal aga suureneb keskkonnareostus lenduvate kasvuhoonegaaside (N_2 , N_2O) näol (Cheneby jt, 2009; Szukics jt, 2010; Clark jt, 2012). Orgaaniliste ja mineraalväetiste kasutamine mõjub stimuleerivalt denitrifitseerijate bakterite aktiivsusele (Enwall jt, 2005; Cheneby jt, 2009). Miller jt (2012) on leidnud, et süsinikurikaste orgaaniliste materjalide muldaviimisel võib denitrifitseerijate bakterite arvukus oluliselt suureneda – seda eriti siis, kui mullas valitseb hapnikuvaegus (näiteks liigsete sademete või üleujutuse korral). Meie vaatlusperioodi jooksul võis mullaproovide kogumise eelset ajutist liigniiskust täheldada vaid paaril juhul (2008. ja 2010. a septembris), aga sellest ei selgunud statistiliselt usutavat ($p > 0,05$) erinevust denitrifitseerijate arvukuses Org I ja Org II variantide muldades. Kuigi aastate kokkuvõtte tulemused näitasid, et denitrifitseerijate bakterite arvukus mullas on sõnniku otsemõjul (kartuli

põllul – tabel 4) ja esimese aasta järelmõjul (kaera põllul – tabel 5) mõnevõrra suurem kui ilma sõnnikuta, ei ole need erinevused statistiliselt ($p > 0,05$) usutavad. Seejuures tasub märkida, et denitrifitseerijate määramisel olid kolme kordusproovi vahelised erinevused märksa suuremad kui teiste bakterirühmade puhul, sellest siis ka suhteliselt suured aritmeetiliste keskmiste standardhälbed.

Nitrifitseerijate bakterite tegevuse tulemusena oksüdeeritakse mulla ja sõnniku orgaanilise aine lagunemisel tekkiv ammoniaak nitraatideks. Need bakterid on aeroobsed organismid, põhiline osa neist paikneb mulla ülemistes kihtides. Nitrifitseerijate arvukus oleneb mulla viljakusest, eelkõige orgaanilise aine sisaldusest ja orgaaniliste väetiste kasutamisest (Avrahami jt, 2003; Watts jt, 2010). Ka meie katse tulemused näitasid, et sõnnikuga väetamine suurendas nitrifitseerijate arvukust mullas praktiliselt igal aastal, seda nii otse- kui järelmõjuna. Katseaastate keskmisena oli Org II variandi puhul mullas nitrifitseerijate bakterite arvukus usutavalt ($p < 0,05$) suurem kui Org I variandi mullas järgmiselt: kartuli väljal (tabel 4) – 158%, kaera väljal (tabel 5) – 74% ning odra väljal (tabel 6) – 57%. Sõnniku ja komposti järelmõju on avaldunud ka veel neljandal aastal pärast nende muldaviimist, sest mikroobse biomassi süsinikku oli siis mullas 20–40% rohkem kui kontrollvariandi puhul (Ginting jt, 2003; Shibabaw, Alemeyehu, 2015).

Aeroobsed tselluloosilagundajad bakterid on seente kõrval teine tähtsaim mikroorganismide grupp, mis lagundab mullas orgaanilist ainet. Selle mikroobigrupi tüvede mitmekesisus, arvukus ja aktiivsus oleneb mulla omadustest, sh lõimisest ja orgaanilise aine sisaldusest (Ulrich jt, 2008). Kuldkepp ja Murdam (1992) on leidnud, et tselluloosi lagundavate bakterite arvukus hakkas kiiresti suurenema juba üsna varsti pärast mitmesuguste orgaaniliste väetiste muldaviimist, kuid veisesõnniku variantides jätkus nende paljunemine pikema aja vältel. Meie katse puhul, kus Org II variandis anti sügiskünni alla põhu allapanuga veisesõnnikut (kuivainena $8,3\text{ t ha}^{-1}$), oli tselluloosilagundajate bakterite arvukus järgmise aasta kevadel võetud mullaproovides kuni 70% võrra suurem kui sõnnikuta Org I variandi puhul. Aastate jooksul tehtud mikroobianalüüside keskmisena oli tselluloosilagundajate arvukus kartulivälja mullas suurenenud ($p < 0,05$) 48,6%. Sõnniku positiivse järelmõju tendentsi jätkumist selle mikroobirühma arvukusele täheldati ka kaera ja odra väljadelt võetud mullaproovide puhul.

Bakterite aktiivse tegevuse tulemusena teatavasti vabanevad mullas sisalduvad ning orgaaniliste materjalidega mulda viidud toiteelemendid taimedele omastatavasse vormi. Seega taimede toitumistingimused paranevad ning saagikus suureneb.

Tabel 4. Sõnnikuga väetamise otsemõju mullamikroobide arvukusele kartuli väljal aastail 2007–2014**Table 4.** The direct effect of manure application on the microbial communities in the soil of the potato field in 2007–2014

Bakterite rühmad <i>Bacterial communities</i>	Variant <i>Treatment</i>	Bakterite arvukus kolooniaid moodustavate ühikuna 1 g kuiva mulla kohta (keskmine ± standarthälve) / <i>Colony forming units (CFU) per 1 g of dry soil (average ± standard error)</i>								
		2007	2008	2009	2009	2010	2010	2011	2013	Keskmine <i>Average</i>
		IX	IX	IV	IX	IV	IX	IV	IX	
Bakterite üldarv	Org I	5,97	8,53	3,70 ± 0,78	6,85 ± 0,29	3,56 ± 1,12	7,67 ± 1,04	3,67 ± 0,73	7,07 ± 0,53	5,87 A
<i>Total bacteria</i> × 10 ⁶	Org II	9,24	10,80	6,14 ± 0,89	6,92 ± 0,79	3,57 ± 0,62	8,36 ± 0,81	4,96 ± 0,40	8,95 ± 1,72	7,37 A
Denitriteerijad	Org I	1,64	1,63	0,98 ± 0,61	8,97 ± 2,73	3,49 ± 2,43	0,20 ± 0,09	–	2,26 ± 0,85	2,74 A
<i>Denitrifiers</i> × 10 ⁵	Org II	4,95	2,35	2,91 ± 1,80	6,99 ± 2,64	3,71 ± 1,13	0,31 ± 0,15	–	4,49 ± 1,84	3,67 A
Nitriteerijad	Org I	1,66	1,07	1,37 ± 0,14	3,39 ± 0,33	2,76 ± 0,24	2,04 ± 0,26	1,12 ± 0,13	1,05 ± 0,08	1,81 B
<i>Nitrifiers</i> × 10 ⁴	Org II	1,91	6,70	7,12 ± 1,28	2,92 ± 1,04	7,20 ± 1,30	2,63 ± 0,43	6,34 ± 4,33	2,53 ± 1,25	4,67 A
Tselluloosilagundajad	Org I	1,59	1,64	2,35 ± 0,06	3,60 ± 0,08	2,28 ± 0,82	2,15 ± 0,54	2,03 ± 0,41	1,76 ± 0,23	2,18 B
<i>Cellulose decomposers</i> × 10 ³	Org II	2,64	3,85	3,99 ± 0,37	4,00 ± 0,62	2,93 ± 1,71	2,60 ± 0,69	2,33 ± 0,50	3,54 ± 1,03	3,24 A

Märkused / Notes: Org I – külvikord ilma sõnnikuta / *crop rotation without manure*; Org II – külvikorras anti kartuli alla veisesõnnikut / *in the crop rotation farmyard cattle manure was applied for potato*

IX – September / *September*; IV – Aprill / *April*

Statistiliselt usaldusväärsed erinevused ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test) bakterirühmade variantide vahel on märgitud erinevate tähtedega (A, B) / *Statistically significant differences ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test) in the bacterial communities between the treatments are marked with different letters (A, B)*

Tabel 5. Sõnnikuga väetamise järelmõju mullamikroobide arvukusele kaera väljal aastail 2008–2013**Table 5.** The aftereffect of manure application on the microbial communities in the soil of the oat field in 2008–2013

Bakterite rühmad <i>Bacterial communities</i>	Variant <i>Treatment</i>	Bakterite arvukus kolooniaid moodustavate ühikuna 1 g kuiva mulla kohta (keskmine ± standarthälve) / <i>Colony forming units (CFU) per 1 g of dry soil (average ± standard error)</i>							
		2008	2009	2009	2010	2010	2011	2013	Keskmine <i>Average</i>
		IX	IV	IX	IV	IX	IV	IX	
Bakterite üldarv	Org I	7,96	5,00 ± 0,17	6,07 ± 0,94	10,93 ± 0,69	9,19 ± 2,27	2,92 ± 0,45	8,67 ± 0,61	7,25 A
<i>Total bacteria</i> × 10 ⁶	Org II	10,90	7,27 ± 2,84	7,93 ± 0,26	17,57 ± 4,77	10,82 ± 1,00	3,91 ± 0,22	9,46 ± 2,62	9,69 A
Denitriteerijad	Org I	2,88	2,12 ± 0,56	1,43 ± 0,24	7,52 ± 5,90	3,53 ± 1,28	–	2,77 ± 0,45	3,38 A
<i>Denitrifiers</i> × 10 ⁵	Org II	5,23	2,14 ± 1,11	2,41 ± 0,78	14,53 ± 9,06	2,19 ± 0,66	–	3,03 ± 1,34	4,92 A
Nitriteerijad	Org I	1,05	1,85 ± 0,17	2,58 ± 0,26	2,14 ± 0,25	2,51 ± 0,19	2,13 ± 0,21	1,16 ± 0,09	1,92 B
<i>Nitrifiers</i> × 10 ⁴	Org II	2,16	4,84 ± 1,46	3,37 ± 0,16	2,30 ± 0,24	3,82 ± 0,62	4,49 ± 0,49	2,43 ± 0,37	3,34 A
Tselluloosilagundajad	Org I	0,98	2,11 ± 0,71	3,12 ± 0,40	2,40 ± 0,42	2,54 ± 0,24	2,29 ± 0,22	2,64 ± 0,21	2,30 A
<i>Cellulose decomposers</i> × 10 ³	Org II	1,80	3,18 ± 1,59	3,25 ± 0,68	2,45 ± 0,50	2,83 ± 0,82	3,25 ± 1,08	3,73 ± 0,50	2,93 A

Org I – külvikord ilma sõnnikuta / *crop rotation without manure*; Org II – külvikorras anti kartuli alla veisesõnnikut / *in the crop rotation farmyard cattle manure was applied for potato*

IX – September / *September*; IV – Aprill / *April*

Statistiliselt usaldusväärsed erinevused ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test) bakterirühmade variantide vahel on märgitud erinevate tähtedega (A, B) / *Statistically significant differences ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test) in the bacterial communities between the treatments are marked with different letters (A, B)*

Tabel 6. Sõnnikuga väetamise järelmõju mullamikroobide arvukusele ristiku allakülviga odra väljal aastail 2009–2011**Table 6.** The aftereffect of manure application on the microbial communities in the soil of the barley field in 2009–2011

Bakterite rühmad <i>Bacterial communities</i>	Variant <i>Treatment</i>	Bakterite arvukus kolooniaid moodustavate ühikuna 1 g kuiva mulla kohta (keskmine ± standarthälve) / <i>Colony forming units (CFU) per 1 g of dry soil (average ± standard error)</i>					
		2009	2009	2010	2010	2011	Keskmine / <i>Average</i>
		IV	IX	IV	IX	IV	
Bakterite üldarv	Org I	2,90 ± 0,60	4,32 ± 1,10	4,21 ± 0,67	11,91 ± 2,00	6,76 ± 0,33	6,02 A
<i>Total bacteria</i> × 10 ⁶	Org II	4,76 ± 0,83	4,91 ± 0,94	7,07 ± 0,57	12,43 ± 0,79	7,14 ± 0,21	7,26 A
Denitriteerijad	Org I	2,84 ± 0,82	4,43 ± 1,08	7,22 ± 1,65	1,84 ± 1,19	–	4,08 A
<i>Denitrifiers</i> × 10 ⁵	Org II	3,60 ± 1,07	2,88 ± 1,44	5,74 ± 1,70	0,60 ± 0,39	–	3,20 A
Nitriteerijad	Org I	2,50 ± 0,63	2,12 ± 0,12	1,40 ± 0,10	2,34 ± 0,42	1,89 ± 0,47	2,05 B
<i>Nitrifiers</i> × 10 ⁴	Org II	1,93 ± 0,26	4,96 ± 1,09	2,75 ± 0,59	3,50 ± 0,19	2,98 ± 0,55	3,22 A
Tselluloosilagundajad	Org I	2,43 ± 0,34	3,43 ± 0,37	1,83 ± 0,54	2,92 ± 0,55	1,91 ± 0,42	2,50 A
<i>Cellulose decomposers</i> × 10 ³	Org II	3,26 ± 0,30	3,15 ± 0,89	3,44 ± 1,46	3,09 ± 0,33	2,60 ± 0,32	3,11 A

Org I – külvikord ilma sõnnikuta / *crop rotation without manure*; Org II – külvikorras anti kartuli alla veisesõnnikut / *in the crop rotation farmyard cattle manure was applied for potato*

IX – September / *September*; IV – Aprill / *April*

Statistiliselt usaldusväärsed erinevused ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test) bakterirühmade variantide vahel on märgitud erinevate tähtedega (A, B) / *Statistically significant differences ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test) in the bacterial communities between the treatments are marked with different letters (A, B)*

Sõnniku mõju kultuuride saagikusele

Kartul. Keskvalmiva sordi 'Laura' kaubastamiskõlblike (> 35 mm) mugulate saak sõltus oluliselt katse-aastast (tabel 7). Kummagi maheviljeluse variandi puhul oli see 2008., 2009. ja 2014. aastal üsna madal. Sademerohe ilmastik 2008. ja 2009. aasta juulis ja augustis soodustas kartuli-lehemädaniku kiiret ja ägedat levikut, mis juba enne kui keskvalmiva sordi

mugulasaak jõudnuks lõplikult moodustudagi hävitas kartulipealsed. Kartuli võis 2014. aastal lugeda praktiliselt ikaldunuks, sest selleks ajaks oli pikka aega maheviljeluslikult (herbitsiidideta) haritav ala juurumbrohtudega – põhiliselt orasheina, põldohaka ja põld-piimohakaga – sedavõrd tugevalt saastunud, et alarindesse jäänud nõrgad kartulitaimed hukkusid suures osas juba enne saagi moodustumist. Enam-vähem

normaalsetes keskkonnatingimustes (2010–2013) oli kartuli saak ilma sõnnikuta kasvatades (Org I variant) 23–26 t ha⁻¹ ja sõnnikuga väetamisel (Org II variant) 33–38 t ha⁻¹. Seitsmeaastase katseperioodi keskmisena

oli kaubanduslike mugulate saak Org I variandis 17 t ha⁻¹ ja Org II variandis 26 t ha⁻¹, st suurenes sõnniku mõjul keskmiselt 52%.

Tabel 7. Kultuuride saagid katseperioodi (2008–2014) jooksul, ja nende keskmise saagikuse alusel arvatud metaboliseeruva energia (ME) kogus maheviljeluse külvikordades

Table 7. The crop yields and sum of metabolizable energy (ME) calculated from the yields of the organically managed crop rotations during the experiment period (2008–2014)

Kultuur, variant <i>Crop, treatment</i>	Saak / Yield t ha ⁻¹							2008–2014	
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	t ha ⁻¹	ME GJ ha ⁻¹
Kartul / Potato									
Org I	11,7	7,1	23,3	26,2	25,2	23,1	2,9	17,1	47,8
Org II	18,9	14,0	33,5	33,3	34,2	37,7	10,5	2,0	69,2
Erinevus / Difference	7,2*	6,9*	10,2*	7,1*	9,0*	14,6*	7,6*	8,9*	21,4
Kaer / Oats									
Org I	2,46	2,22	2,76	1,87	1,98	4,00	2,85	2,59	26,5
Org II	3,29	2,92	3,54	1,90	3,42	4,39	2,88	3,19	32,6
Erinevus / Difference	0,83*	0,70*	0,74*	0,03	1,44*	0,39	0,03	0,60*	6,1
Oder / Barley									
Org I	1,26	1,96	1,05	0,93	1,50	1,86	1,44	1,43	16,0
Org II	1,26	2,37	1,39	1,08	1,91	1,50	1,56	1,58	17,7
Erinevus / Difference	0	0,41*	0,34*	0,15	0,41*	-0,36*	0,12	0,15	1,7
Rukis / Rye									
Org I	3,01	3,20	3,10	1,66	2,76	2,06	3,94	2,82	33,0
Org II	3,00	3,24	3,10	1,91	3,07	1,97	4,03	2,90	33,9
Erinevus / Difference	0,01	0,04	0,00	0,25*	0,31	0,09	0,09	0,08	0,90

Külvikord (5 aastat) / Crop rotation (5 years): kartul / potato → kaer / oat → oder ristiku allakülviga / barley with undersown clover → ristik haljasväetiseks / clover as green manure → rukis / rye.

Org I – maheviljelus, sõnnikuta / organic without manure; Org II – maheviljelus, kartuli alla veisesõnnikut / organic with farmyard cattle manure (under potato).

* Statistiliselt usaldusväärne erinevus / statistically significant difference ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test)

Kaer. Olustvere suhteliselt viljakal mullal andis maheviljeluslikult kasvatatav kaer (sort 'Jaak') üsna head saaki – katseperioodi jooksul (2011. aasta välja arvatud) Org I variandis 2,0–4,0 t ha⁻¹ ja Org II variandis 2,9–4,4 t ha⁻¹. Kaera arengu algfaasides oli 2011. aasta ilmastik ebasoodne: juuni esimene kümmepäevak oli väga kuum (ööpäeva keskmine 22,7 °C) ning kestis ligemale kolmenädalane pöud. Nimetatud aastal jäi kaera taimik hõredaks ning see kajastus ka saaginumbrites. Katseperioodi keskmisena saadi sõnniku järelmõjul kaera enamsaaki 0,6 t ha⁻¹ ehk 23% võrra rohkem kui sõnnikuta kontrollvariandis.

Oder. Ristiku allakülvi tõttu vähendatud külvisenor- midega külvatud odra saagikus maheviljeluse variantides oli suhteliselt madal: Org I variandi puhul 0,9–2,0 t ha⁻¹ ja Org II variandi puhul 1,1–2,4 t ha⁻¹. Kuigi Org II variandi saak katseaastate keskmisena oli 0,15 t ha⁻¹ võrra suurem, ei olnud see erinevus statistiliselt usutav ($p \geq 0,05$).

Rukis. Rukis üldiselt ei ole mulla viljakuse suhtes eriti nõudlik. Nii näiteks meiegi katses – pikka aega (alates 2002. aastast) ilma mingeid väetisaineid kasutamata – oli saagitase 3–4 t ha⁻¹ enamikul aastatest täiesti saavutatav ainuüksi tänu sellele, et ristik oli eelkultuuriks. Rukki madal saagikus 2011. ja 2013. aastal oli põhjustatud kehva talvitustingimustest, mistõttu rukki kasvutihedus jäi väga väikeseks. Külvikorras kasutatud sõnniku järelmõju rukkini enam ei ulatunud, kuna mõju saagikusele ei tuvastatud.

Metaboliseeruv energia. Selleks, et saada parem ülevaade Org I ja Org II variantidelt kogutud toodangust kogu külvikorra jooksul, arutati kartuli, kaera,

odra ja rukki saagid (t ha⁻¹) ümber metaboliseeruva energia (ME) ühikuteks (GJ ha⁻¹). Org I variandi puhul oli külvikorralt ära viidud kogutoodangu ME väärtuseks 123,3 GJ ja Org II variandi puhul – 153,4 GJ. Seega saadi 60 t taheda veisesõnniku arvel enamtulu 30 GJ väärtuses.

Majanduslikest arvestustest selgus, et maheviljeluses on sõnniku kasutamine efektiivne ka rahalises mõttes: olenevalt toodangu müügihindadest, kas tava- või mahetoodanguna, oli talus omatoodetud sõnniku kasutamisel võimalik saada lisatulu 151–869 € ha⁻¹ (Järvan jt, 2017). Sisseostetud sõnniku kasutamine mahekülvikorras oli majanduslikul õigustatud vaid siis, kui reaalseeriti saadused kõrgemate, mahetoodangu hindadega (Järvan jt, 2017).

Järeldused

1. Veisesõnnik, millega külvikorra jooksul anti mulda orgaanilist kuivainet 8,3 t ha⁻¹, ei mõjutanud seitsmeaastase perioodi jooksul statistiliselt usutavalt ($p > 0,05$) mulla orgaanilise süsiniku sisaldust ja mullareaktsiooni.
2. Maheviljelus ilma taimetoitaineid juurde andmata põhjustas mullas omastatava kaaliumi sisalduse olulise languse. Sõnniku kasutamine suutis mulla kaaliumibilansi tasakaalustada ning ühtlasi suurendas ka omastatava fosfori ja magneesiumi sisaldust mullas.
3. Sõnnikuga väetamine aktiveeris mullamikroobide tegevust. Sügiskünna alla antud sõnniku mõjul oli järgmisel aastal mullas väga oluliselt ($p < 0,05$) suurenenud nitrifitseerijate bakterite (+158%) ja

- tselluloosilagundajate bakterite (+49%) arvukus, samuti avaldus tegev tendents bakterite üldarvu ja denitrifitseerijate bakterite arvukuse suurenemisele.
- Sõnnikuga väetamise positiivne toime mullabakteritele avaldus veel ka kahel järelmõju aastal, mil statistiliselt usutavalt ($p < 0,05$) suurenes nitrifitseerijate bakterite arvukus. Samuti ilmnes tendents bakterite üldarvu ja tselluloosilagundajate bakterite arvukuse suurenemisele.
 - Sõnniku kasutamine maheviljeluslikus külvikorras suurendas kultuuride saagikust. Kartuli kaubanduslike mugulate saak suurenes sõnniku otsemõjul keskmiselt 9 t ha⁻¹ ehk 52%. Sõnniku järelmõjul suurenes usutavalt ($p < 0,05$) ka kaera saagikus – 0,6 t ha⁻¹ ehk 23%. Tendents odra saagikuse suurenemisele avaldus ka veel kolmandal aastal pärast sõnniku muldaviimist. Külvikorra jooksul saadud kogutoodang, väljendatuna metaboliseeruva energiana, suurenes sõnniku toimel 30 GJ võrra ehk 24,4%.
 - Põhu allapanuga veisesõnniku kasutamine maheviljeluslikult majandatavas külvikorras oli kasulik nii ökoloogilisest kui ka majanduslikust vaatekohast lähtudes: oli tagatud mullaviljakuse püsimine (teatud näitajate osas ka paranemine), aktiveerus mullamikroobide tegevus, saakide suurenemine tagas maheviljeluse tulukuse suurenemise.

Tänuavaldus

Käesolev uurimistöö toimus Põllumajandusministeeriumi tellitud rakendusuringuprojekti "Maheviljeluse eri viiside ja tavaviljeluse mõju võrdlemine mulla viljakusele ja elustikule ning põllukultuuride saagikusele ja kvaliteedile" raames. Autor tänab Miralda Paivelit ja Liina Edesit mullaproovide võtmise ning saagiproovide kogumise ja esmase töötlemise eest ning Helgi Laitamme mikrobioloogiliste analüüside tegevise eest.

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autor kinnitab artikliga seotud huvide konflikti puudumist.
The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panus / Author contributions

MJ (100%) katse planeerimine, andmete kogumine, analüüs ja tõlgendamine, artikli kirjutamine, toimetamine.
MJ (100%) study conception and design, acquisition, analysis and interpretation of data, drafting, editing and critical revision of the manuscript.

Kasutatud kirjandus

Avrahami, S., Liesack, W., Conrad, R. 2003. Effects of temperature and fertilizer on activity and community structure of soil ammonia oxidizers. – *Environmental Microbiology*, 5:691–705.

- Bakšienė, E., Ražukas, A., Repečkienė, J., Titova, J. 2014. Influence of different farming systems on the stability of low productivity soil in Southeast Lithuania. – *Zemdirbyste-Agriculture*, 101(2):115–124.
- Blanchet, G., Gavazov, K., Bragazza, L., Sinaj, S. 2016. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in Swiss conventional farming systems. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 230:116–126.
- Blanco-Canqui, H., Hergert, G.W., Nielsen, R.A. 2015. Cattle manure application reduces soil compactibility and increases water retention after 71 years. – *Soil Science Society of America Journal*, 79(1):212–223.
- Bünemann, E.K., Schwenke, G.D., van Zwieten, L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organic – a review. – *Australian Journal of Soil Research*, 44:379–406.
- Cheneby, D., Brauman, A., Rabary, B., Philippot, L. 2009. Differential Responses of Nitrate Reducer Community Size, Structure, and Activity to Tillage Systems. – *Applied and Environmental Microbiology*, 75:3180–3186.
- Clark, I.M., Buchkina, N., Jhurrea, D., Goulding, K. W.T., Hirsch, P.R. 2012. Impacts of nitrogen application rates on the activity and diversity of denitrifying bacteria in the Broadbalk Wheat Experiment. – *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1593):1235–1244.
- Diacono, M., Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. – *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2): 401–422.
- Dunjana, N., Nyamugafata, P., Shumba, A., Nyaman-gara, J., Zingore, S. 2012. Effects of cattle manure on selected soil physical properties of smallholder farms on two soils of Murewa, Zimbabwe. – *Soil Use and Management*, 28(2):221–228.
- 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 and Plant Science*, 62:583–594.
- Effects of Manure and Fertilizer on Soil Fertility and Soil Quality. March 2013, Manitoba. 68 pp.
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Ref.: Kungliga Lantbruksstyrelsens Kungorelser M.M., Nr. 1, 1965. Stockholm.
- Enwall, K., Philippot, L., Hallin, S. 2005. Activity and composition of the denitrifying bacterial community respond differently to long-term fertilization. – *Applied and Environmental Microbiology*, 71:8335–8343.
- Eremeev, V., Kuht, J., Tein, B., Talgre, L., Alaru, M., Loit, E., Luik, A. 2017. Kartuli kasvatamise mõju

- mulla toitainete sisaldusele maheviljelussüsteemide võrdluskatses. – Teaduselt mahepõllumajandusele. Konverentsi "Mahepõllumajandus ja keskkond" toimetised. Peetsmann, E., Luik, A., Metspalu, L. (toim). SA EMÜ Mahekeskus: Tartu, lk. 29–33.
- Fageria, N.K. 2012. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43:2063–2113.
- Foissy, D., Vian, J.F., David, C. 2013. Managing nutrient in organic farming system: reliance of livestock production for nutrient management of arable farmland. – *Organic Agriculture*, 3(3):183–199.
- Franklin, R.B., Mills, A.L. 2009. Importance of spatially structured environmental heterogeneity in controlling microbial community composition at small spatial scales in an agricultural field. – *Soil Biology and Biochemistry*, 41:1833–1840.
- Ginting, D., Kessavalou, A., Eghball, B., Doran, J.W. 2003. Greenhouse gas emissions and soil indicators four year after manure and compost application. – *Journal of Environmental Quality*, 32:23–32.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A., Vösa, T. 2014. Soil microbial communities and dehydrogenase activity depending on farming systems. – *Plant, Soil and Environment*, 60(10):459–463.
- Järvan, M., Vettik, R., Tamm, K. 2017. The importance and profitability of farmyard manure application to an organically managed crop rotation. – *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4):321–328.
- Koorem, K., Gazol, A., Öpik, M., Moora, M., Saks, Ü., Uibopuu, A., Söber, V., Zobel, M. 2014. Soil nutrient content influences the abundance of soil microbes but not plant biomass at the small-scale. – *PLoS One*, 9(3):e91998.
- Kuldkepp, P., Murdam, L. 1992. Erinevate orgaaniliste väetiste mõjust mullale ja saakidele. – *Agraarteadus*, 3(1/2):15–33.
- Körshens, M., Weigel, A., Schulz, E. 1998. Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances. Tools for evaluating sustainable productivity of soils. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 161:409–424.
- Lauber, C.L., Ramirez, K.S., Aanderud, Z., Lennon, J., Fierer, N. 2013. Temporal variability in soil microbial communities across land-use types. – *The ISME Journal*, 7:1641–1650.
- Lipson, D.A. 2007. Relationships between temperature responses and bacterial community structure along seasonal and altitudinal gradients. – *FEMS Microbiology and Ecology*, 59:418–427.
- Masilionytė, L., Maikštėnienė, S. 2016. The effect of alternative cropping systems on the changes of the main nutritional elements in the soil. – *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(1):3–10.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15:1409–1416.
- Methods of soil analysis. Part 2 – Chemical and microbiological properties (2nd ed.). A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.). 1982. Madison: Wisconsin USA.
- Miller, M.N., Dandie, C.E., Zebarth, B.J., Burton, D.L., Goyer, C., Trevors, J.T. 2012. Influence of carbon amendments on soil denitrifier abundance in soil microcosms. – *Geoderma*, 170:48–55.
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G. 2003. Microbial diversity and soil functions. – *European Journal of Soil Science*, 54:655–670.
- Oll, Ü., Tölp, S. 1997. Söötade energiasalduse arvutamise juhend koos abitabelitega. – Tartu Eesti Põllumajandusülikool, 83 lk.
- Ondrašek, L., Čunderlik, J. 2008. Effects of organic and mineral fertilizers on biological properties of soil under seminatural grassland. – *Plant, Soil and Environment*, 54:329–335.
- Scherer, H.W., Metker, D.J., Welp, G. 2011. Effect of long-term organic amendments on chemical and microbial properties of a luvisol. – *Plant, Soil and Environment*, 57:513–518.
- Shibabaw, A., Alemeyehu, M. 2015. The contribution of some soil and crop management practice on soil organic carbon reserves: review. – *Journal of Advances in Agriculture*, 3(3):267–274.
- Stockdale, E.A., Watson, C.A. 2009. Biological indicators of soil quality in organic farming systems. – *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(4):308–318.
- Szukics, U., Abell, G.C.J., Hödl, V., Mitter, B., Sessitsch, A., Hackl, E., Zehmeister-Boltenstern, S. 2010. Nitrifiers and denitrifiers respond rapidly to changed moisture and increasing temperature in a pristine forest soil. – *FEMS Microbiology and Ecology*, 72:395–406.
- Šimon T., Czakó A. 2014. Influence of long-term application of organic and inorganic fertilizers on soil properties. – *Plant, Soil and Environment*, 60(7):314–319.
- Tammik, K., Kauer, K., Astover, A., Penu, P. 2018. Eesti põllumuldade süsinikuvaru dünaamika aastatel 1983–2016. – *Agronoomia 2018. M. Alaru (toim.)*. Tartu, lk 30–35.
- Truu, M., Truu, J., Ivask, M. 2008. Soil microbial and biochemical properties for assessing the effect of agricultural practices in Estonian cultivated soils. – *European Journal of Soil Biology*, 44(2):231–237.
- Ulrich, A., Klimke, G., Wirth, S. 2008. Diversity and activity of cellulose-decomposing bacteria, isolated from a sandy and a loamy soil after long-term manure application. – *Microbial Ecology*, 55(3):512–522.
- Vašak, F., Černý, J., Buranova, Š., Kulhanek, M., Balik, J. 2015. Soil pH changes in long-term field experiments with different fertilizing systems. – *Soil and Water Resources*, 10(1):19–23.
- Watts, D.B., Torbert, H.A., Feng, Y., Prior, S.A. 2010. Soil microbial community dynamics as influenced by

composted dairy manure, soil properties, and landscape position. – *Soil Science*, 175(10):474–486.

Wardle, D.A. 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. – *Biological Reviews*, 67:321–358.

Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W., Carefoot, J.P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. – *Soil Science Society of America Journal*, 64:962–966.

The impact of manure application in the organically managed crop rotation

Malle Järvan

Estonian Crop Research Institute, Department of Agrotechnology, Teaduse 4/6, 75501 Saku, Estonia

Summary

Organic agriculture is a production system which relies on ecological processes. In the organic farming systems, it is important to improve soil fertility and to protect soil physical condition for its healthy functioning. Organic farming systems are generally associated with increased biological activity and increased below-ground biodiversity. The benefit from organically cultivated crops is strongly related to the maintenance of soil fertility based to a great extent on the soil organic matter content. One of the more valuable organic fertilizers maintaining soil fertility in the systems of alternative agriculture is farmyard manure. The aim of the current work was to show a versatile influence of straw-based solid cattle manure (FYM) applied for an organically managed crop rotation.

The field experiment was performed in Central-Estonia at Olustvere (58° 33' N, 25° 34' E) on a sandy loam *Luvisol* during 2008–2014. Formerly, for six years, this area has been cultivated according to the principles of organic farming. At the start of the experiment (2008), the main agrichemical parameters of the soil were the following: organic matter content 2.8%, pH_{KCl} 6.0, $\text{P}_{\text{Mehlich 3}}$ 213 mg kg⁻¹, $\text{K}_{\text{Mehlich 3}}$ 139 mg kg⁻¹. In 2008, the crop rotation was established as follows: winter rye (*Secale cereale* L.), potato (*Solanum tuberosum* L.), oat (*Avena sativa* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.) with undersown red clover (*Trifolium pratense* L.) and clover. The size of each field was 1.2 ha, which was divided into three equal parts between the cultivation methods. The following treatments were carried out: organic without manure (Org I), organic with FYM (Org II) and conventional (Conv). For the present work, only the organic treatments are disserted.

The tillage method in both organic treatments was the mouldboard ploughing to a depth of 22 cm in autumn.

Clover was cut and ploughed into the soil before rye sowing. Straw and crop residues were not removed from the field. For the Org II treatment, prior to the ryestubble ploughing FYM at the rate of 60 t ha⁻¹ fresh weight was applied for potato grown in the next year. As an average of experiment period, the following amounts of nutrients were applied by FYM into the soil: N 286, P 61, K 166, Ca 130 and Mg 56 kg ha⁻¹; trace elements: copper (Cu) – 286, manganese (Mn) – 1224 and boron (B) – 201 g ha⁻¹. Every year in September, from both organic treatments of all rotation fields the soil samples were taken. They were analysed by the Mehlich-3 method, and later also by alternative methods. Apart sampling of soils was carried out with the goal to investigate the effect of manure application on some microbiological processes in the soil. The grain yields were calculated on the basis of sheaves taken in four replications and quantified on 86% dry matter content. For potato, the yield was calculated on the basis of marketable (> 35 mm) tubers sampled from 10 consecutive plants in three replications.

The results of this research showed that the organic cultivation without nutrients input during a seven-year period caused the significant ($p < 0.05$) decrease in the content of mobile potassium, copper and boron in the soil. Also, a slight tendency to the decrease of organic carbon (C_{org}) content in the soil has become evident. The application of FYM at the rate of 8.3 t ha⁻¹ organic dry matter for the five-year crop rotation increased significantly the content of available phosphorus and magnesium in the soil; also the rising tendency of the available potassium and C_{org} content has been revealed.

Due to the application of FYM, the microbial life in the soil was highly activated. As a direct effect of FYM, the microbial communities in the soil were significantly ($p < 0.05$) increasing in next year as follows: nitrifying bacteria – by 158% and cellulose decomposing bacteria – by 49%; also the counts of denitrifying and total bacteria showed the rising tendency. The positive after-effect of the FYM application on the soil microbes occurred as well for the second and third year.

Under direct influence of the FYM application, the marketable yield of potato tubers increased by 9 t ha⁻¹, i.e. 52%, as the average for the experiment period. Under after-effect of FYM, the average yield of oats increased by 23% and that of barley by 10%. If to summarize the total production of crop rotation to the equal units, it was shown that the application of 60 t ha⁻¹ manure every fifth year resulted in an extra income of 30 GJ metabolizable energy during the crop rotation.

Consequently, the use of straw-based cattle farmyard manure in the organically managed crop rotation was beneficial and profitable from both ecological and economical viewpoints: it maintained and/or increased the fertility and biodiversity of the soil, and resulted in the increasing crop yields allowing an extra income.