

Agraarteadus
2 * XXVII * 2016 55–64



Journal of Agricultural Science
2 * XXVII * 2016 55–64

TOITEELEMENTIDE DÜNAAMIKA MULLAS SÕLTUVALT VILJELUSVIISIDEST JA ANALÜÜSIMEETODITEST

DYNAMICS OF PLANT NUTRIENTS IN ORGANICALLY AND CONVENTIONALLY MANAGED SOILS EXTRACTED BY DIFFERENT ANALYZE METHODS

Malle Järvan, Raivo Vettik

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

Saabunud: 20.10.16
Received:
Aktsepteeritud: 10.12.16
Accepted:
Avaldatud veebis: 10.12.16
Published online:
Vastutav autor: Malle Järvan
Corresponding author:
e-mail: malle.jarvan@etki.ee

Keywords: phosphorus, potassium, calcium, magnesium, Mehlich 3 extraction, ammonium lactate extraction

Link: http://agrt.emu.ee/pdf/2016_2_jarvan.pdf

ABSTRACT. The goal of this work was to research what kind changes in the soil agrichemical parameters occur depending on different farming methods. The field experiment was established on sandy loamy soil at Olustvere (58° 33' N, 25° 34' E) during 2008–2014. The following treatments were carried out: organic (ORG), organic with farmyard cattle manure (ORGFYM) and conventional with farmyard cattle manure and mineral fertilizers (CONFYM). Every year in September the soil samples (0–20 cm) on the crop rotation fields were collected and analysed for P, K, Mg and Ca by the Mehlich 3 (Me3) method. In parallel, ammonium lactate extractable P and K (AL-method), and ammonium acetate extractable Mg and Ca (NH₄OAc-method) were determined. In all the treatments, no significant changes in soil C_{org} content were established over seven years. A significant ($p < 0.05$) decrease in soil pH was shown for the CONFYM treatment. For the ORG treatment there revealed considerable decrease of the available K content in the soil. The application of manure in the both organic and conventional treatments sustained the status of available nutrients in the soil. The Pearson correlation coefficients (at the significance $p < 0.01$) between the Mehlich 3 method and alternative methods were the following: for P – 0.770, for K – 0.922, for Mg – 0.951 and for Ca – 0.841. The P_{Me3}/P_{AL} quotient was inversely proportional with the Ca_{Me3} values.

© 2016 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. Kõik õigused kaitstud. 2016 Estonian Academic Agricultural Society. All rights reserved.

Sissejuhatus

Euroopa Liidu põllumajanduspoliitika ja tarbijate kasvav nõudlus mahetoidu järele soodustab mahepõllumajanduse laienemist. Üldlevinud arvamus kohaselt – ja see on kinnitust leidnud ka paljudes teadusuuringutes – loob maheviljeluse eeldused mullaviljakuse säilimiseks ja paranemiseks. Oluline roll on täita mulla orgaanilisel ainel, mille kaudu on mõjutatud kõik mullas toimuvad protsessid – nii füüsikalised, keemilised kui ka bioloogilised (Pospisilova jt, 2011; Fageria, 2012). Maheviljeluses on mulla orgaanilise aine varude täiendamiseks võimalik kasutada mitmesuguse päritoluga aineid ja materjale. Sõltuvalt muldaviidud orgaanilise materjali omadustest võib selle mõju mulla toitainete ja orgaanilise süsiniku sisaldusele olla üsnagi erinev (Scherer jt, 2011; Pikuła, D., Rutkowska, 2014; Kauer jt, 2015).

Mulla toitainete omastamine taimede poolt toimub nii mahe- kui ka tavaviljeluse tingimustes ikka ühesuguste reeglite järgi. Erinevus eri viljelusviiside puhul on aga mulla toitainetevarudes ja nende kättesaadavuses. Orgaanilise majandamise korral – eriti juhtudel, kui mulla toitainetevarusid regulaarselt ei täiendata – omavad väga suurt tähtsust mulla looduslikud, taimede poolt suhteliselt raskesti omastatavad varud (Stockdale jt, 2002).

Mitmes teadusuuringus (Bakken jt, 2006; Leifeld, Fuhrer, 2010) on leitud, et väide orgaanilise majandamise positiivsest mõjust mulla orgaanilise süsiniku sisaldusele on siiski ennatlik. Maheviljeluse eelis mulla orgaanilise süsiniku suhtes taandub enamasti sellele, et seal kasutatakse orgaanilisi väetisi ebaproportsionaalselt rohkem kui tavaviljeluses (Leifeld, Fuhrer, 2010).

Orgaanilisi tootmissüsteeme on kritiseeritud selles, et nad toetuvad põhiliselt mulla looduslikele varudele ja

kui selline majandamine, ilma toitaineid juurde andmata, kestab pikemat aega, siis võib mulla viljakus oluliselt langeda (Ellmer, Baumecker, 2005; Gosling, Shepherd, 2005; Masilionytė, Maikštėnienė, 2016). Sõnniku regulaarne kasutamine võimaldab siiski tagada tasakaalustatud toitainebilansi (Ellmer, Baumecker, 2005; Masilionytė, Maikštėnienė, 2016). Ühtlasi soodustab sõnnik mulla mikrobioloogilist aktiivsust, mille tulemusena vabaneb mullavarudes olevaid toiteelemente taimedele omastatavasse vormi. Orgaanilistes tootmissüsteemides sõltub taimekasvatus otseselt sellest toitainete ringlusest, mida mõjutavad ja kontrollivad mullamikroobid ja nende aktiivsus (Monokrousos jt, 2006). On teada, et mitmed bakterid ja seened, soodustades orgaaniliste fosfortühendite mineraliseerumist või lahustades anorgaanilisi fosfaate, suurendavad fosfori kättesaadavust taimedele (Parham jt, 2002; Richardson, Simpson, 2011). Samuti on kindlaks tehtud, et teatud bakterid suudavad parendada mullavarude kaaliumi kättesaadavust (Parmar, Sindhu, 2013; Meena jt, 2014). Taimedele omastatavate toitainete tase mullas sõltub oluliselt mulla ensümaatilise aktiivsusest. Selle kõige adekvaatsemaks, tähtsaimaks ja üheks kõige sensitiivsemaks indikaatoriks peetakse dehüdrogenaasi aktiivsust (DHA) (Wolinska, Stepniewska, 2012).

Taimedele omastatavate toitainete olukorra hindamiseks on kasutusel mitmesugused analüütilised meetodid. Mullaanalüüsi meetodite asjakohasuse ja võrreldavuse üle on paljud teadlased sageli diskuteerinud. Eesti agrookeemiateenistuses toimus alates 2004. aastast üleminek ammooniumlaktaat- ja topeltlaktaatväljatõmbega meetoditelt ehk vastavalt AL- ja DL-meetoditelt multi-elementse ekstraheerimislahusega Mehlich 3 meetodile. Ülemineku eel tehti Eesti valdavate mullatüüpidega nende meetodite järgi võrdlusanalüüsi ning leiti erinevate toiteelementide jaoks korrelatsioonid Mehlich 3 meetodi ja senikasutatud meetodite vahel (Loide jt, 2004). Mehlich 3 meetodi kasutuselevõtt aga on tekitanud mitmeid küsitavusi analüüsitulemuste interpreteerimise osas. Eriti terav on kriitika olnud mulla fosforinäitade kohta, sest teatud mullatüüpide puhul võib määramise viga olla liiga suur (Roostalu, 2014). Pealegi, nagu on näidanud mitmed uuringud (Matula, 2010; Tõnutare jt, 2015), on Mehlich 3 ekstraheerimislahusest määratud makroelementide sisaldused teatud määral mõjutatud ka aparatuuri iseärasustest.

Käesoleva töö eesmärk oli leida vastused järgmistele küsimustele. Esiteks, kuidas maheviljelus ilma täiendava väetamiseta mõjutab mulla agrookeemilisi näitajaid, kas mullaviljakus sel juhul langeb? Teiseks, kas regulaarne sõnniku kasutamine maheviljeluse külvikorras võimaldab mullaviljakust säilitada? Kolmas küsimus kerkis esile seoses mullaanalüüsi tulemustega. Sest nagu on leidnud Roostalu (2014) ja Wünschert jt (2015), sõltuvad Mehlich 3 meetodil määratud fosfori tulemused oluliselt mulla lõimisest ja karbonaatsusest. Seepärast tahtsime uurida, kuidas korreleeruvad liivsavi lõimisega kahkja mulla puhul erinevate analüüsi-meetoditega määratud makroelementide (P, K, Mg, Ca) sisaldused.

Materjal ja meetodika

Põldkatsed viidi läbi aastail 2008–2014 Olustveres liivsavi lõimisega kahkjal e näivleeturunud mullal. Katse rajamise eel olid mulla agrookeemilised näitajad järgmised: pH_{KCL} 6,0, P_{AL} 96, K_{AL} 108, Ca_{NH_4OAc} 735 ja Mg_{NH_4OAc} 64 mg kg⁻¹. 2002. aastast alates oli sellel 6-hektarisel alal viieväljalises külvikorras järgitud maheviljeluse nõudeid, mingeid väetisi ei kasutatud. 2008. a kevadel modifitseeriti külvikorda veidi, rakendades järgmist kultuuride järjestust: rukis, kartul, kaer, oder punase ristiku allakülviga, ristik haljasväetiseks. Kõik külvikorraväljad (á suurusega 1,2 ha) jagati kolme paralleelse võõndina järgmisteks variantideks (á 0,4 ha): orgaaniline viljelus, sõnnikuta (ORG); orgaaniline viljelus, sõnnikuga (ORGFYM); tavaviljelus (CONFYM), kus kasutati sõnnikut, mineraalväetisi ja pestitsiide.

Mullaharimine oli kõikides variantides ühesugune – sügiskünd, kultuuride mehaaniline hooldamine, ristikumassi purustamine ja sisseküünd enne talivilja külvi. ORGFYM ja CONFYM variantides anti järgmise aasta kartuli jaoks sügiskünni alla tahedat veisesõnnikut normiga 60 t ha⁻¹, millega aastate keskmisena viidi toitaineid mulda järgmistes kogustes: N 287, P 65, K 164, Ca 130 ja Mg 60 kg ha⁻¹. CONFYM variandi puhul anti kultuuride alla kompleksväetisi järgmistes kogustes: kartulile – N60P60K120, kaerale – N72P18K36, ristiku allakülviga odrale – N48P12K24, rukkile – N15P30K75 kg ha⁻¹ sügisel ning kevadel kahel korral pealtväetiseks N 34 kg ha⁻¹ ammooniumsalpeetrina. Ristikule ei antud väetist.

Kõikide aastate jooksul tehti saagiarvestusi. Kartuli puhul koristati käsitsi 10 pesa kolmes korduses. Tera- viljade puhul määrati saagikus nii proovivihkude baasil, mis võeti 1 m² lappidelt neljas korduses, kui ka kombainiga koristades 400 m² pinnalt. Määrati saagi keemiline koostis ning arvutati saagiga põllult ära- viidavad makroelementide kogused. Igal aastal septembris võeti kõikidel külvikorraväljadel katsevariantidelt mulla (0–20 cm) keskmised proovid, mis veel samal aastal analüüsiti 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 magneesiumi- sisalduse (Mg_{NH_4OAc}) määramiseks kasutati Tecator ASTN90/92 (Methods of soil analysis, 1982). Ca_{NH_4OAc} 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 Dumas' meetodil elementanalüsaatoril.

Viimase kolme katseaasta (2012–2014) septembris võeti kõikidel külvikorraväljadel katsevariantidelt mullaproovid dehüdrogenaasi aktiivsuse (DHA)

määramiseks. Proovid võeti mulla 0–20 cm kihist randomiseeritud meetodil kolmes korduses, sõeluti läbi 2 mm avadega sõela ning säilitati kuni DHA määramiseni 4 °C temperatuuril. DHA määrati spektrofotomeetriselt 546 nm lainepikkusel (Tabatabai, 1982) Eesti Taimekasvatuse Instituudi laboris Liina Edesi poolt.

Ilmastikutingimused olid katseperioodil üsna erinevad. Vegetatsiooniperioodi (aprill–september) sademete hulga poolest võib aastaid 2008, 2012 ja 2014 hinnata väga vihmasteks (450–479 mm), 2009 ja 2010 olid normaalsed (~390 mm), 2011 ja 2013 aga sademetevaesed (300 ja 282 mm). Aprilli–septembri keskmine õhutemperatuur oli piirides 12,3 °C (2012) kuni 14,3 °C (2011).

Statistilisel andmetöötusel kasutati tabelarvutusprogrammi MS Excel. Erinevate analüüsimeetodite tulemuste vahelise seose hindamiseks leiti Pearsoni korrelatsioonikordajad fosfori ja kaaliumi korral Mehlich 3 ja AL-meetodi ning magneesiumi ja kaltsiumi korral Mehlich 3 ja NH₄OAc meetodi vahel. Korrelatsioonikordajad leiti nii erinevate katsevariantide korral kui ka kõikide katsevariantide andmete koostöötlemisel. Korrelatsioonikordajate statistilise usutavuse kontrollimiseks kasutati t-testi. Erinevatel meetoditel määratud mulla agrookeemiliste näitajate (P, K, Mg ja Ca sisalduste) teisendatavust uuriti regressioonanalüüsiga.

Tulemused ja arutelu

Orgaaniline süsinik (C_{org}). Mulla orgaanilise süsiniku varus toimuvaid muutusi, mis on põhjustatud viljelusviiside erinevustest, on keeruline tuvastada, sest need toimuvad väga aeglaselt (Körschens jt, 1998; Kauer jt, 2015). Körschens jt (1998) andmeil isegi väga ekstreemse väetamise korral ulatusid muutused vaid sajandikprotsendini C_{org} sisaldusest.

Hindamiseks C_{org} trendi Olustvere katse mullas, arvutasime selle kõikide viljelusviiside puhul viie külvikorra välja keskmistena. Selgus, et seitsmeaastase perioodi jooksul ei toimunud ühegi katsevariandi mulla C_{org} sisalduses statistiliselt usutavat muutust (tabel 1). Siiski võis täheldada, et ORG variandi puhul, kus mingit väetamist ei toimunud, ilmnis tendents mulla

C_{org} sisalduse vähenemise suunas. ORGFYM ja CONFYM variantides anti külvikorra jooksul sõnnikuga mulda kuivkaalus 8,2 t ha⁻¹ orgaanilist ainet. Kuigi sõnnikus sisalduv süsinik teatavasti mineraliseerub suhteliselt lühikese aja jooksul (Pikula, Rutkowska, 2014), ilmnis eelmainitud variantide mullas tendents C_{org} sisalduse suurenemisele.

Üldiselt aga oli 7-aastane periood liiga lühike selleks, et saada usaldusväärseid tulemusi viljelusviiside mõjust mulla orgaanilise süsiniku sisaldusele.

Mulla pH. Eesti kliimaatilistes tingimustes, kus sademete hulk ületab aurumise, on paljudele mullaerimitele iseloomulik, et need aja jooksul hapestuvad. See väljendus ka meie katse puhul. Seitsme aasta jooksul muutus mullareaktsioon happelisemaks kõikide viljelusviiside puhul, kuid ainult tavaviljeluse võõndil oli pH alanemine statistiliselt usutav ($p < 0,05$) (tabel 1). Siin võis mulla mõnevõrra suurem hapestumine, maheviljeluse variantidega võrreldes, olla osaliselt tingitud mineraalväetiste kasutamisest selles katsevariandis.

Fosfor. Määratava fosfori kontsentratsioon mullalahuses sõltub oluliselt ekstraheerimislahuse toimeainest ja pH-st, mulla ja lahuse suhtest, loksutamise kestusest, mitmesugustest mulla omadustest jm (Eriksson, 2009; Otabong jt, 2009; Schroder jt, 2009; Wünsch jt, 2015). Aktiivsete toimeainete koosseis ekstraheerimislahuses on tõenäoliselt peamine põhjus miks erinevatel meetoditel ekstraheeritud P kogustes on suured erinevused (Eriksson, 2009). Mehlich 3 meetodi puhul fosfori ekstraheerimiseks lahuse koostisesse lisatud ammoniumfluoriid (NH₄F) ei ole efektiivne eraldama fosforit kaltsiumfosfaatidest, kuid on väga efektiivne ekstraheerima seda alumiiniumi- ja rauaoksiididest, mille tulemuseks võib olla omastatava P sisalduse ülehindamine (Eriksson, 2009).

Käesolevas uurimistöös määrati omastatava P sisaldus Mehlich 3 ja AL-meetoditel igal aastal kolme viljelusviisi kõikide külvikorraväljade mullas, kokku 105 proovist. Joonisel 1 on omastatava P – ning samuti K, Mg ja Ca – dünaamika mõlema meetodi puhul esitatud viie välja keskmistena koos standardhälbega. Mehlich 3 meetodil määratud P tulemused on toodud joonise A-osas.

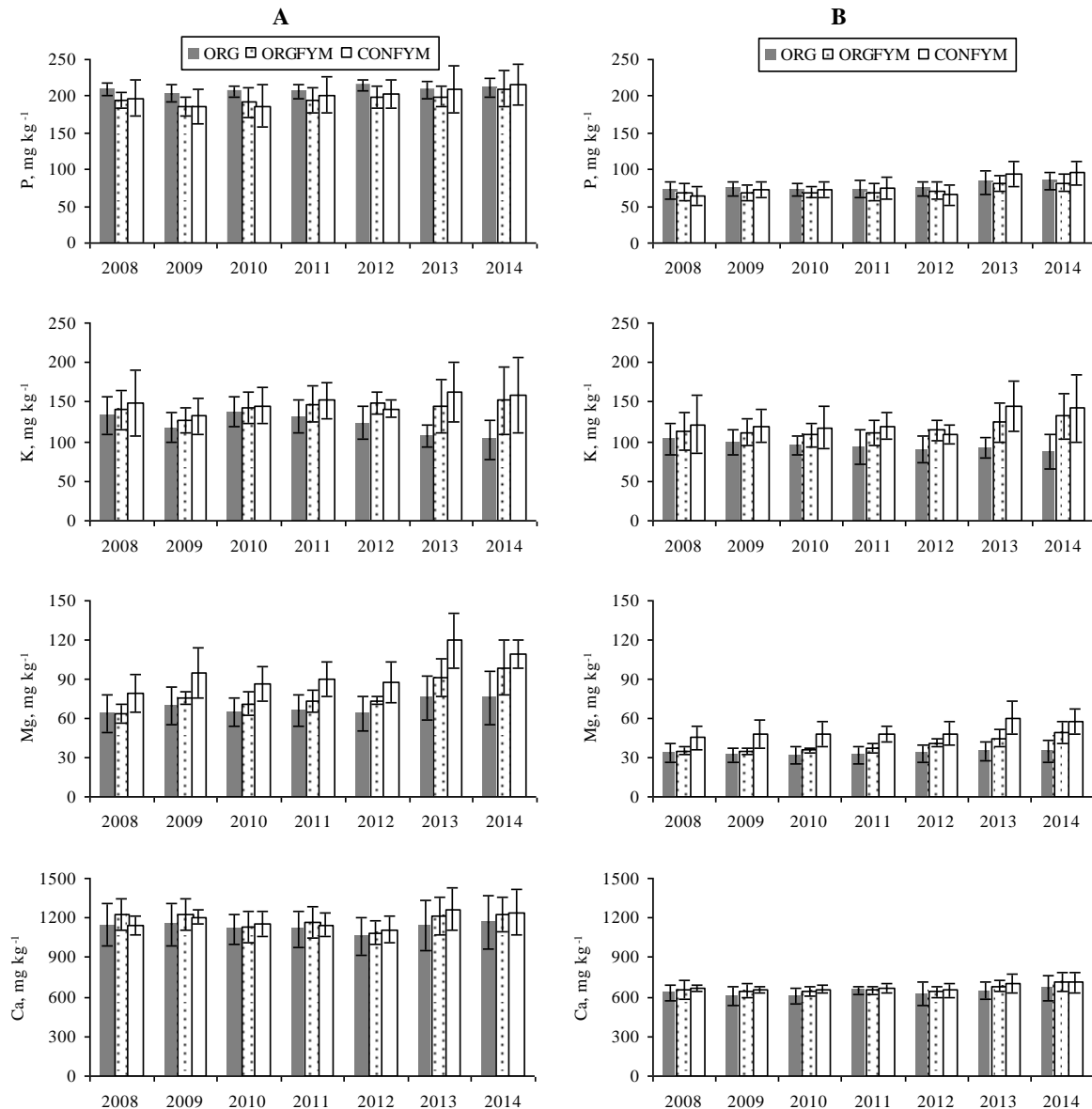
Tabel 1. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldus ja pH_{KCl} katse algul (2008) ja lõpul (2014)

Table 1. The C_{org} content and pH_{KCl} of soils at the beginning (2008) and at the end (2014) of the experiment

Viljelusviis / Treatment	C _{org} , %			pH _{KCl}		
	2008	2014	Muutumine / Change	2008	2014	Muutumine / Change
ORG	1,56	1,48	-0,08	5,92	5,74	-0,18
ORGFYM	1,56	1,66	+0,10	6,12	5,98	-0,14
CONFYM	1,68	1,74	+0,06	6,04	5,84	-0,20*

Viljelusviisid / Treatments: ORG – orgaaniline, sõnnikuta / organic without manure, ORGFYM – orgaaniline, sõnnikuga / organic with farmyard cattle manure, CONFYM – tavaviljelus, sõnniku, mineraalväetiste ja pestitsiididega / conventional with farmyard cattle manure, mineral fertilizers and pesticides.

* $p < 0,05$



Joonis 1. Toitelementide dünaamika mullas sõltuvalt analüüsimetodist: A) Mehlich 3 meetod ja B) AL-meetod (P ja K) ja NH_4OAc meetod (Mg ja Ca). Tulpadena on esitatud toitelementide sisaldused viie külvikorravälja keskmisena koos standardhälbega. Variandid: ORG – orgaaniline viljelus, sõnnikuta; ORGFYM – orgaaniline viljelus, sõnnikuga; CONFYM – tavaviljelus sõnniku ja mineraalväetisega

Figure 1. The dynamics of elements in differently managed soils: A) determined by the Mehlich 3 method, and B) determined by the AL method (P and K), and NH_4OAc method (Mg and Ca). The columns denote the average contents of elements from all the five fields of crop rotation with the standard deviation. Treatments: ORG – organic without manure, ORGFYM – organic with manure, and CONFYM – conventional with manure and mineral fertilizers

Mehlich 3 lahus, mille pH on 2,5, on üks kangemaid lahuseid, mida kasutatakse taimedele omastatavate toitainete ekstraheerimiseks mullast (Schroder jt, 2009; Kulhánek jt, 2014). P_{Me3} sisaldused meie katse kõikides mullaproovides olid väga kõrged ning vaadeldud perioodi jooksul üldiselt ei olnud võimalik tuvastada viljelusviisidest oleneda võivaid muutusi. Nii näiteks oli ORG variandis P_{Me3} tase katse lõpul (2014) praktiliselt samasugune kui katse algul (2008), vastavalt 211 ± 12 ja 209 ± 9 mg kg^{-1} . ORGFYM variandi mulla P_{Me3} sisaldus katse lõpul oli samasuur (210 ± 24) kui ORG variandi puhul. CONFYM variandi puhul kõikusid mulla P_{Me3} sisaldused 185 ± 24 mg kg^{-1} (2009) ja 215 ± 28 mg kg^{-1} (2014) vahel.

Samadest mullaproovidest ekstraheeriti omastatav P paralleelselt ka alternatiivsel AL-meetodil. P_{AL} tulemused (joonis 1B) olid mitu korda väiksemad kui P_{Me3} tulemused. Orgaanilise viljeluse mõlema variandi puhul P_{AL} sisaldused praktiliselt ei muutunud esimese nelja katseaasta (2008–2012) jooksul. Küll aga ilmses P_{AL} sisalduse oluline tõus alates 2013. aastast. Arvame, et see omastatava P sisalduse tõus aastaid kestnud orgaanilise viljeluse tulemusena võis olla põhjustatud mitmest mõjurist. Esiteks, see võis tingitud olla naaber-aastate erinevatest niiskusoludest. 2012. aasta oli väga vihmane – aprillist septembri lõpuni sadas 450 mm, kusjuures väga sademerohe oli ka mullaproovide võtmise eelne periood. Sellistes oludes võis toimuda

lahustuvate toitainete väljauhtumine künnikihist. 2013. aasta vegetatsiooniperiood, vastupidiselt eelmisele aastale, oli aga väga pöuane – aprillist septembrini 282 mm sademeid, seejuures poolteise kuu jooksul enne mullaproovide võtmist sadas kokku vaid 14 mm. Pöua tingimustes võis toimuda vees lahustunud toitainete transport alumistest mullakihtidest ülemistesse. Nagu märgivad ka Li jt (2014), aurumise protsessis liiguvad vesi ja selles lahustunud soolad mulla ülemisse kihti ning võivad põhjustada selle sooldumist. Teiseks, ORGFYM variandi puhul oli mulla P_{AL} suurenemise üheks põhjuseks tõenäoliselt ka regulaarne sõnnikuga väetamine, mille puhul fosfori bilanss oli tugevalt positiivne (külvikorra jooksul anti mulda P 65 kg ha⁻¹, saakidega eemaldati P kokku 35 kg ha⁻¹). Kolmandaks, omastatava P sisalduse suurenemises ei tohiks välistada ka mullamikroobide tegevust. Orgaanilisel viljelemisel, kus mineraalväetisi ja pestitsiide ei kasutata, on mulla mikrobioloogiline aktiivsus suur ja paljud mikroobid suudavad lahustada mullafosfaate (Monokrousos jt, 2006; Richardson, Simpson, 2011). Meie varasemas uuringus (Järvan jt, 2014) selgus, et 2013. aastal orgaanilise viljeluse variantides suurenes mulla dehüdrogenaasi aktiivsus (DHA). Liina Edesi publitseerimata andmeil jätkus DHA suurenemine ORG ja ORGFYM variantide mullas ka 2014. aastal. Seega võib arvata, et mulla P_{AL} sisalduse suurenemises oli tõenäoliselt oma roll ka mullamikroobide aktiivsel tegevusel.

Katseperioodi lõpuks (2014), võrreldes algtasemega (2008), oli mulla P_{AL} sisaldus (viie välja keskmisena) suurenenud ORG ja ORGFYM variantide puhul 13 ja 14 mg kg⁻¹ võrra, tavaviljeluse (CONFYM) variandis aga 32 mg kg⁻¹ võrra. CONFYM variandi puhul oli fosfori bilanss tugevalt positiivne, sest külvikorra jooksul anti mineraalväetiste ja sõnnikuga mulda kokku 185 kg P ha⁻¹, saakidega eemaldati aga vaid 73 kg P ha⁻¹.

Kaalium. Katse algul (2008) oli mulla liikuva kaaliumi sisaldus, määratuna Mehlich 3 meetodil, erinevate viljelusviiside võõnditel viie külvikorravälja keskmisena järgmine: ORG variandis 132 ± 23 mg kg⁻¹, ORGFYM variandis 140 ± 25 mg kg⁻¹ ja CONFYM variandis 149 ± 42 mg kg⁻¹ (joonis 1A). AL lahusega ekstraheerimisel olid liikuva kaaliumi keskmised sisaldused katsevariantide muldades 2008. aastal vastavalt järgmised: 104 ± 20, 114 ± 24 ja 122 ± 37 mg kg⁻¹ (joonis 1B).

Seitsmeaastase katseperioodi jooksul ei täheldatud ORGFYM ja CONFYM variantide puhul mulla K_{Me3} sisaldustes mingit selgesuunalist tendentsi. ORG variandi puhul püsis mulla K_{Me3} näitaja esimestel aastatel suhteliselt stabiilsena, kuid vähenes katse viimastel aastatel suhteliselt järsult, langedes 2014. aastaks tasemeni 103 mg kg⁻¹. On üsna tõenäoline, et sellise orgaanilise viljeluse puhul, kus väetisaineid mulda juurde ei anta, hakkab aastate jooksul mullas süvenema liikuvate toitainetarude väljakurnamine. Suhteliselt kerge lõimise ja madala savisisaldusega muld – nagu see oli meie katse puhul – ei suuda oma looduslike varude arvelt katta saakidega äraviidavat

kaaliumi kogust. Mainigem siin, et ORG variandi külvikorras oli kaaliumi bilanss tugevalt negatiivne (–105 kg K ha⁻¹).

Muldade analüüsimine AL-meetodil näitas samuti, et ORG variandi mullas hakkas K_{AL} sisaldus aastate jooksul vähenema ning jõudis 2014. aastaks langeda keskmiselt 17 mg kg⁻¹ võrra ehk tasemeni 87 mg kg⁻¹. ORGFYM ja CONFYM variantide puhul ei toimunud mulla K_{AL} sisaldustes olulisi muutusi esimesel viiel katse aastal, kuid alates 2013. aastast hakkasid K_{AL} sisaldused suurenema, jõudes 2014. aastal tasemeteni 133 ± 28 ja 142 ± 43 mg kg⁻¹. K_{AL} suurenemise tendentsi põhjused olid tõenäoliselt samad, mida on eespool P_{AL} puhul kirjeldatud, see on: esiteks – niiskused, teiseks – regulaarne sõnniku andmine mulda ja kolmandaks – mullamikroobid. Sõnnikuga väetamine teatavasti aktiveerib mulla mikrofloora tegevust (Edesi jt, 2012).

Mulla liikuva kaaliumi dünaamika uurimisel on teadlased, olenevalt katsetingimustest, saanud üsna erinevasuunalisi tulemusi. Näiteks Andrist-Rangel jt (2007) on pikaajalises katses leidnud, et nii mahe- kui ka tavatootmise süsteemides oli kaaliumi bilanss võrdset negatiivne. Sánchez de Cima jt (2015) on kindlaks teinud, et orgaanilise viljeluse tingimustes oli omastatava kaaliumi sisaldus viieväljalise külvikorra mullas oluliselt vähenenud juba pärast esimese rotatsiooni läbimist. Løes ja Øgaard (2003) aga märgivad, et mahedalt tootvates piimafarmides, kus toimus mulla toitainetega isevarustamine, püsis mulla K_{AL} sisaldus piisavalt kõrge ega näidanud kahanemise tendentsi isegi kuni 14-aastase vaatlusperioodi jooksul. Ka Bučiene jt (2003) hinnangul on sõnnikuga väetamine parim abinõu selleks, et tagada mulla kaaliumitaseme püsimine vähese sisendiga viljelussüsteemides.

Magneesium ja kaltsium. Mehlich 3 meetodil määratud magneesiumi (Mg_{Me3}) sisaldus katse algul (2008) oli mõlema orgaanilise viljelusviisi mullas ühesugune – 64 mg kg⁻¹ (joonis 1A). ORG variandi puhul püsis see 2012. aastani praktiliselt muutumatuna, seejärel avaldus kerge suurenemise tendents. ORGFYM ja CONFYM variantide puhul aga täheldati, et Mg_{Meh3} sisaldus mullas hakkas tõusma juba katse algusest alates. Seitsmeaastase vaatlusperioodi jooksul (2014 sügiseks) oli Mg_{Me3} sisaldus ORG, ORGFYM ja CONFYM variantide mullas suurenenud vastavalt 12, 35 ja 30 mg kg⁻¹ võrra.

Kõikidest mullaproovidest määrati liikuv magneesium ja kaltsium paralleelselt ka ammooniumatsetaadi väljatõmbest. Mg_{NH4OAc} keskmised sisaldused ORG ja ORGFYM muldades katse alul olid vastavalt 33 ja 35 mg kg⁻¹ (joonis 1B). ORG variandi mullas püsis Mg_{NH4OAc} sisaldus kogu katseperioodi jooksul muutumatuna, vaatamata sellele, et teatud kogus (külvikorra jooksul 12,9 kg ha⁻¹) magneesiumi eemaldati mullast saakidega. Kuigi magneesium – sarnaselt kaltsiumiga – allub kergesti väljauhtumisele, on magneesiumirikkal aluskivimil väljakujunenud mullad sellega siiski hästi varustatud (Mengel, Kirkby, 1987). Märkimisväärne, et meie katse puhul oli mulla lähtematerjal magneesiumirikas dolomiitjas moreen.

ORGFYM ja CONFYM variantide mulla Mg_{NH_4OAc} sisaldus esimesel neljal-viiel katseaastal püsis enam-vähem stabiilsena, katse lõpuaastatel aga näitas suurenemise tendentsi ning oli 2014. aastaks võrreldes alg-tasemega suurenenud 13–14 mg kg⁻¹ võrra. Mainigem, et mõlemas variandis oli külvikorra jooksul sõnnikuga mulda antud Mg 60 kg ha⁻¹, saakidega eemaldati Mg vastavalt 15,7 ja 28,4 kg ha⁻¹, seega oli magneesiumi bilanss nendes katsevariantides tugevalt positiivne. Sõnnik teatavasti on väga hea liikuva magneesiumi allikas (Kulhánek jt, 2014). Meie katse puhul üsna tõenäoliselt võisid Mg_{NH_4OAc} sisalduse tulemusi positiivselt mõjutada ka mullale loomupäraselt omased protsessid, kus mullas mitmesuguste ühenditena seotud magneesium osaliselt vabaneb taimedele omastatavateks vormideks.

Mulla kaltsiumisisaldused katsevariantide võõnditel ja külvikorra väljadel näitasid katse algul üsna erinevaid tulemusi. Mullaproovides kõikusid Ca_{Me3} sisaldused vahemikus 1050–1380 mg kg⁻¹ ja Ca_{NH_4OAc} sisaldused vahemikus 579–726 mg kg⁻¹ (joonis 1). Katseperioodi jooksul Ca_{Me3} sisaldus ORG variandi mullas praktiliselt ei muutunud, olles vahemikus 1114–1168 mg kg⁻¹. ORGFYM variandi puhul kõikus Ca_{Me3} sisaldus aastate jooksul veidi, kuid oli 2014. aastaks samal tasemel (1220 mg kg⁻¹) kui 2008. aastal. Nende tulemuste põhjal kahjuks ei ole võimalik teha mingeid konkreetseid järeldusi Ca_{Me3} dünaamika kohta. Ka Schroder jt (2009) ning Kulhánek jt (2014) oma uurin-gute tulemusena on teatanud, et muldade ekstraheerimisel tugevatoimelise Mehlich 3 lahusega ei olnud võimalik tuvastada tendentse mulla kaltsiumisisalduse muutumisest.

Mullaproovidest määratud Ca_{NH_4OAc} sisaldused viie külvikorravälja keskmistena olid samuti üsna stabiilsed ega näidanud aastate jooksul selgeid tendentse (joonis 1B). Siiski võis kahel viimasel katseaastal ORGFYM ja CONFYM variandi muldade Ca_{NH_4OAc} sisaldustes täheldada kergelt tõusutendentsi. Selle tõenäoliseks põhjuseks võib pidada sõnnikuga mulda viidud suhteliselt suurt kaltsiumikogust. Üldiselt aga võib öelda, et seitsmeaastase perioodi jooksul ei vähenenud mulla Ca_{NH_4OAc} sisaldus ühegi katsevariandi puhul. Võib oletada, et sellistes mullastik-kliimaatilistes tingimustes oli kaltsiumi künnikihist väljaleostumine ja kaltsiumi vabanemine mullavarudest ning sõnnikust omavahel heas tasakaalus.

Erinevate analüüsimeetodite tulemuste võrdlemine.

Nagu nähtub jooniselt 1, annab muldade ekstraheerimine Mehlich 3 meetodil ja alternatiivsetel meetoditel üsna

erineva suurusega tulemusi. Erinevatel meetoditel saadud tulemuste võrdlemisel tuleb teha ümberarvestusi, kuid nende kvaliteet sõltub korrelatiivsete seoste tugevusest.

Pearsoni korrelatsioonikordajad erinevate katse-variantide korral ja kõik katsevariandid koos on esitatud tabelis 2. Mehlich 3 ja AL-meetodi vaheline Pearsoni korrelatsioonikordaja oli fosfori puhul mada-lam ($r = 0,770$, $p < 0,01$) kui kaaliumi puhul ($r = 0,922$, $p < 0,01$). Kõige kõrgem Pearsoni korrelatsiooni-kordaja väärtus Mehlich 3 ja NH_4OAc meetodi vahel oli magneesiumi puhul ($r = 0,951$, $p < 0,01$), mõnevõrra nõrgem oli see kaltsiumi puhul ($r = 0,841$, $p < 0,01$). Seda, et magneesiumi puhul on Mehlich 3 ja NH_4OAc meetodi vaheline korrelatsioon väga tugev (0,96–0,99), märgivad ka Staugaitis, Rutkauskienė (2010).

Tabelist 2 nähtub, et nii fosfori kui ka kaaliumi korral sõltusid Pearsoni korrelatsioonikordajate väärtused Mehlich 3 ja AL-meetodi vahel katsevariantidest. Korre-latsioon oli kõige nõrgem sõnnikuta orgaaniline viljeluse (ORG) puhul. Ka magneesiumi ja kaltsiumi korral sõltusid Pearsoni korrelatsioonikordajate väärtused Mehlich 3 ja NH_4OAc meetodi vahel katse-variantidest, kusjuures korrelatsioon oli kõige nõrgem sõnnikuga orgaanilise viljeluse (ORGFYM) puhul. Edaspidi vajaks täiendavat uurimist ja väljaselgitamist, millest need korrelatsioonide erinevused olid tingitud.

Üksikmõõtmiste alusel leitud seosed erinevate analüüsimeetodite vahel on esitatud jooniselt 2 graafikute ja regressioonivõrranditena. Joonisel esitatud determi-natsioonikordajate põhjal saab väita, et sobitatud mudelid kirjeldasid tegelikku varieeruvust järgmiselt: magneesium 90,1%, kaalium 84,8%, kaltsium 69,3% ja fosfor 59,6%.

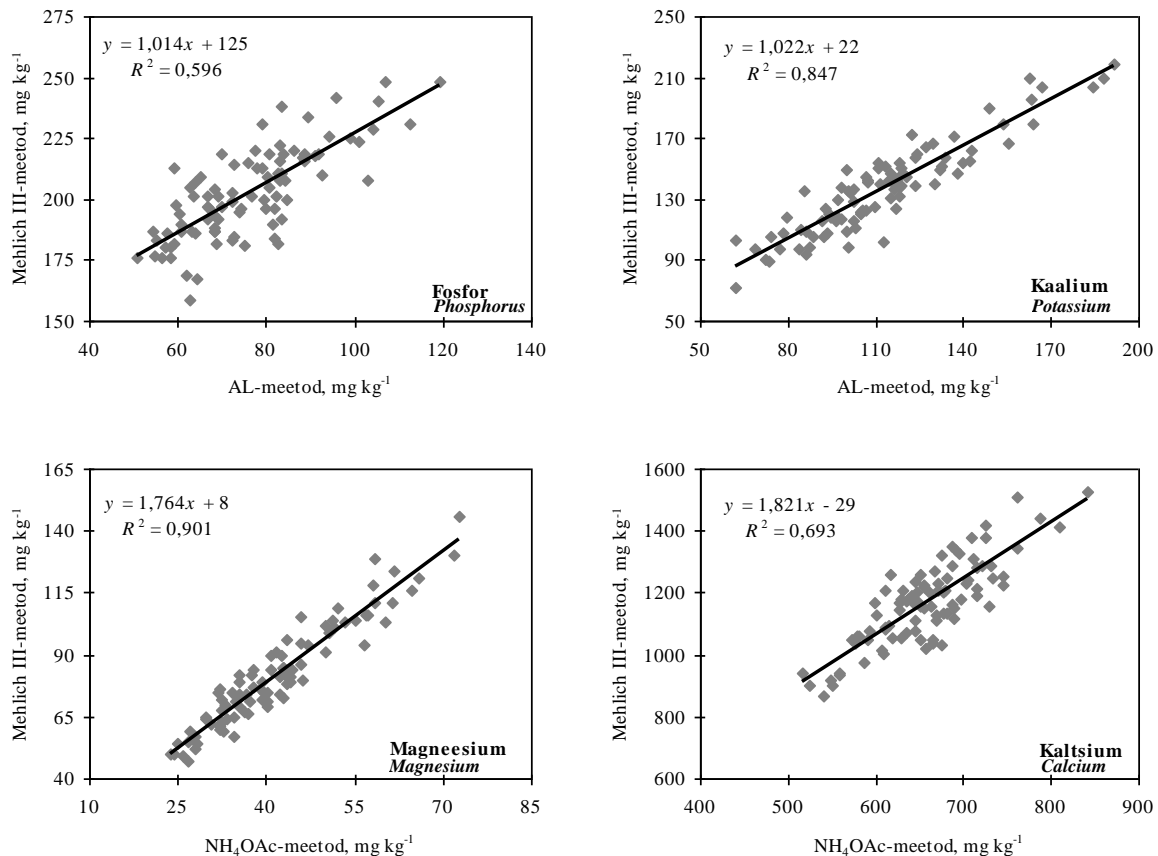
Lisaks eeltoodule arvutasime kõikide analüüsitud mullaproovide ($n = 105$) jaoks erinevatel määramis-meetoditel saadud fosforisisalduse tulemuste vahel koefitsiendi P_{Me3} / P_{AL} ning jaotasime saadud koefit-siendid gruppidesse vastavalt nendesamade proovide Ca_{Me3} näitajatele. Selgus huvitav seaduspärasus, et P_{Me3}/P_{AL} koefitsient oli pöördvõrdelises seoses Ca_{Me3} näitajatega. Ca_{Me3} kolme erineva tasemega grupi jaoks olid P_{Me3} / P_{AL} koefitsiendid vastavalt järgmised: < 1100 mg kg⁻¹ ($n = 34$) – $2,96 \pm 0,28$; $1101–1200$ ($n = 31$) – $2,79 \pm 0,32$; >1201 ($n = 40$) – $2,54 \pm 0,28$. Need tulemused kinnitavad teiste autorite (Roostalu, 2014; Wünscher jt, 2015) hinnanguid, et mulla kaltsiu-misisaldus võib mõjutada Mehlich 3 ekstraheerimis-lahusest määratud fosforisisalduse näitajaid.

Tabel 2. Pearsoni korrelatsioonikordajad Mehlich 3 ja AL-meetodi (P, K) ning Mehlich 3 ja NH_4OAc -meetodi (Mg, Ca) vahel
Table 2. The Pearson correlation between the Mehlich 3 and the AL-methods (P, K) and between the Mehlich 3 and the NH_4OAc -methods (Mg, Ca)

Variant / Treatment	Fosfor / Phosphorus	Kaalium / Potassium	Magneesium / Magnesium	Kaltsium / Calcium
ORG (n = 35)	0,604	0,806	0,945	0,908
ORGFYM (n = 35)	0,845	0,896	0,915	0,764
CONFYM (n = 35)	0,815	0,954	0,951	0,794
KÕIK / ALL (n = 105)	0,770	0,922	0,951	0,841

Variandid / Treatments: ORG – orgaaniline, sõnnikuta / organic without manure; ORGFYM – orgaaniline, sõnnikuga / organic with manure; CONFYM – tavaviljelus, sõnniku ja mineraalväetistega / conventional with manure and mineral fertilizers.

Kõik kordajad on usutavad $p < 0,01$ / All the correlation coefficients between the methods are significant $p < 0.01$



Joonis 2. Üksikmõõtmiste alusel leitud seosed Mehlich 3 meetodi ja alternatiivsete analüüsimeetodite vahel
Figure 2. Relationships between the Mehlich 3 method and alternative analysis methods on the basis of all individual measurements (meetod = method)

Järeldused

1. Erinevad viljelusviisid ei avaldanud seitsmeaastase vaatlusperioodi jooksul statistiliselt olulist mõju mulla (0–20 cm) orgaanilise süsiniku sisaldusele. Mulla happesuse suurenemine statistiliselt usutavalt tavaviljeluse variandis, mille puhul külvikorras kasutati mineraalväetisi.

2. Muldade analüüsimisel Mehlich 3 meetodil ei tuvastatud muutusi mulla fosforisisalduse dünaamikas. Muldadest AL-meetodil ekstraheeritud fosfori sisalduses, tingituna mitme positiivse teguri koosmõjust, ilmnes katseperioodi lõpuaastatel kõikide viljelusviiside puhul tendents suurenemise suunas.

3. Sõnnikuta orgaanilise viljeluse (ORG variant) puhul pärast seitsmeaastast perioodi olid kerge liivsavi lõimisega mullas oluliselt vähenenud nii Mehlich 3 meetodil kui ka AL-meetodil määratud liikuva kaaliumi sisaldused. Külvikorras sõnniku kasutamine (ORGFYM ja CONFYM variantides) tagas mulla kaaliumitaseme püsivuse.

4. Liikuva magneesiumi sisaldus sõnnikuta orgaanilise viljelusviisi mullas püsis katseperioodi jooksul praktiliselt muutumatuna. Sõnniku regulaarsel kasutamisel külvikorras avaldus kerge tendents mulla magneesiumisisalduse suurenemise suunas. Mulla liikuva

kaaliumi sisalduse dünaamikas ei ilmnenud seaduspäraseid muutusi.

5. Pearsoni korrelatsioonikordaja Mehlich 3 meetodi ja AL-meetodi vahel oli fosfori puhul madalam ($r = 0,770$, $p < 0,01$) kui kaaliumi puhul ($r = 0,922$, $p < 0,01$). Pearsoni korrelatsioonikordaja Mehlich 3 ja NH₄OAc meetodite vahel oli magneesiumi puhul kõrgem ($r = 0,951$, $p < 0,01$) kui kaltsiumi puhul ($r = 0,841$, $p < 0,01$). P_{Me3} / P_{AL} koefitsient oli pöördvõrdelises seoses mulla Ca_{Me3} näitajatega.

Huvide konflikt / Conflict of interests

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

Tänuavaldused

Käesolev uurimistöö toimus Põllumajandusministeeriumi tellitud rakendusuuringuprojekti *Maheviljeluse eri viiside ja tavaviljeluse mõju võrdlemine mulla viljakusele ja elustikule ning põllukultuuride saagikusele ja kvaliteedile* raames. Artikli autorid tänavad Liina Edesit ja Miralda Paivelit projekti täitmisel osutatud abi eest ning Mai Oleskit alternatiivsetel meetoditel tehtud mullaanalüüside eest.

Kasutatud kirjandus

- Andrist-Rangel, Y., Edwards, A.C., Hillier, S., Öborn, I. 2007. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 413–426.
- Bakken, A.K., Breland, T.A., Haraldsen, T.K., Aamlid, T.S., Sveinstrup, T.R. 2006. Soil fertility in three cropping systems after conversion from conventional to organic farming. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 56, 81–90.
- Bučienė, A., Šlepetienė, A., Šimanskaitė, D., Svirskienė, A., Butkutė, B. 2003. Changes in soil properties under high- and low-input cropping systems in Lithuania. – *Soil Use and Management*, 19, 291–297.
- 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.
- 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 Kungörelser M.M., Nr. 1*, 1965. Stockholm.
- Ellmer, F., Baumecker, M. 2005. Static nutrient depletion experiment Thyrow. Results after 65 experimental years. – *Archives of Agronomy and Soil Science*, 51, 151–161.
- Eriksson, A.K. 2009. Phosphorus in agricultural soils around the Baltic Sea – Comparisons of different laboratory methods as indices for phosphorus leaching to waters. Seminarier och examensarbeten Nr. 64. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- 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.
- Gosling, P., Shepherd, M. 2005. Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105, 425–432.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A., Vösa, T. 2014. Soil microbial communities and dehydrogenase activity depending on farming systems. – *Plant, Soil and Environment*, 60, 459–463.
- Kauer, K., Tein, B., Talgre, L., Ereemeev, V., Luik A. 2015. Viljelussüsteemide mõju mulla süsinikuvarule. – *Agronomia 2015. EcoprintAS*, Tartu, 16–21.
- Kulhánek, M., Balík, J., Černý, F., Vašák, F., Shejbalová, Š. 2014. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. – *Plant, Soil, Environment*, 60, 151–157.
- Körschens, M., Weigel, A., Schulz E. 1998. Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances. – Tools for evaluating sustainable productivity of soils, *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.*, 161, 409–424.
- Leifeld, J., Fuhrer, J. 2010. Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? – *Ambio*, 39, 585–599.
- Li, X., Chang, S.X., Salifu, K.F. 2014. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review. – *Environmental Reviews*, 22, 41–50.
- Loide, V., Nöges, M., Rebane, J. 2004. Väetistarbe hindamisest Mehlich 3 väljatõmbest. – *Agraarteadus*, XV (4), 206–215.
- Løes, A-K., Øgaard, A.F. 2003. Concentrations of soil potassium after long-term organic dairy production. – *International Journal of Agricultural Sustainability*, 1, 14–29.
- 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, 3–10.
- Matula, J. 2010. Differences in available phosphorus evaluated by soil tests in relation to detection by colorimetric and ICP-AES techniques. – *Plant, Soil and Environment*, 56, 297–304.
- Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? – *Microbiological Research*, 169, 337–347.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1409–1416.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 4th Ed. Bern/Switzerland, International Potash Institute.
- Methods of soil analysis. 1982. In: *Chemical and microbiological properties*. Part 2, 2nd Ed. (eds. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney). – Madison, Wisconsin USA.
- Monokrousos, N., Papatheodorou, E.M., Diamantopoulos, J.D., Stamou, G.P. 2006. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. – *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1282–1289.
- Ottobong, E., Börling, K., Kätterer, T., Mattson, L. 2009. Compatibility of the ammonium lactate (AL) and sodium bicarbonate (Olsen) methods for determining available phosphorus in Swedish soils. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 59, 373–378.
- Parham, J.A., Deng, S.P., Raun, W.R., Johnson, G.V. 2002. Long-term cattle manure application in soil. I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C, and dehydrogenase and phosphatase activities. – *Biology and Fertility of Soils*, 35, 328–337.
- Parmar, P., Sindhu, S.S. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. – *Journal of Microbiology Research*, 3, 25–31.

- Pikuła, D., Rutkowska, A. 2014. Effect of leguminous crop and fertilization on soil organic carbon in 30-years field experiment. – *Plant, Soil, Environment*, 60, 507–511.
- Pospisilova, L., Formanek, P., Liptaj, T., Losak, T., Martensson, A. 2011. Land use effects on carbon quality and soil biological properties in Eutric Cambisol. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 61, 661–669.
- Richardson, A.E., Simpson, R.J. 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. – *Plant Physiology*, 156, 989–996.
- Roostalu, H. 2014. Muldade väetistatbe meetodid, analüüsitulemuste tõlgendamine ja usaldusväärsus ning kasutamine põllumajandusettevõttes. – Ettekanne 9.03.2014, Tartu. 57 lk. <http://www.slideshare.net/meitjurgens/muldade-vetistatbe-meetodid...> 18.04.2016
- Sánchez de Cima, D., Reintam, E., Tein, B., Ereemeev, V., Luik A. 2015. Soil nutrient evolution during the first rotation in organic and conventional farming systems. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46, 2675–2687.
- 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, Environment*, 57, 513–518.
- Schroder, J.L., Zhang, H., Richards, J.R. 2009. Inter-laboratory validation of the Mehlich 3 method as a universal extractant for plant nutrients. – *Journal of AOAC International*, 92, 995–1008.
- Staugaitis, G., Rutkauskienė, R. 2010. Comparison of magnesium determination methods as influenced by soil properties. – *Zemdirbystė/Agriculture*, 97, 105–116.
- Stockdale, E.A., Shepherd, M.A., Fortune, S., Cuttle, S.P. 2002. Soil fertility in organic farming systems – fundamentally different? – *Soil Use and Management*, 18, 301–308.
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2* (eds. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney). – American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison.
- Tõnutare, T., Rodima, A., Kõlli, R., Krebstein, K., Penu, P., Rebane, J., Künnapas, A. 2015. Makroelementide sisalduse määramisest mullas Mehlich 3 meetodil. – *Agronomia* 2015. Ecoprint AS, Tartu. 219–224.
- Wolinska, A., Stepniewska, Z. 2012. Dehydrogenase activity in the soil environment. In: *Dehydrogenases* (ed. R.A. Canuto), Section 3, Chapter 8. – Rijeka, Croatia.
- Wünscher, R., Unterfrauner, H., Peticzka, R., Zehetner, F. 2015. A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. – *Plant, Soil, Environment*, 61, 86–96.

Dynamics of plant nutrients in organically and conventionally managed soils extracted by different analyze methods

Malle Järvan, Raivo Vettik
*Estonian Crop Research Institute,
 Department of Agrotechnology,
 Teaduse 4/6, 75501 Saku, Estonia*

Summary

In last decades organic farming has been expanding due to interests of consumers and agricultural policies. It is believed that organic farming sustains and improves soil fertility parameters, especially organic matter content in the soil. Different analytical methods have been implemented to determine the content of plant-available nutrients in the soil. The comparability of results obtained by means of different extraction methods demands recalculations which reliability depends on the strength of correlative relationships.

During seven-year period the field experiment and different analytical tests were carried out to investigate several problems and research questions. Firstly, does the soil fertility deteriorate when the soil is managed organically without nutrients' input? Secondly, does the application of farmyard cattle manure (FYM) during the crop rotation to sustain the soil fertility status? The third question for this research work rose up relating to the data of soil analyses which were carried out by the Mehlich 3 method and in parallel by alternative methods.

The field experiment was performed in Central Estonia at Olustvere on sandy loamy soil during 2008–2014. In the conditions of five-year crop rotation (red clover, winter rye, potato, oats, barley with undersown clover) the following treatments (farming methods) were established: organic without manure (ORG), organic with solid cattle farmyard manure (ORGFYM) and conventional farming where manure, mineral fertilizers and pesticides were used (CONFYM). The tillage method in the all three treatments was the moldboard ploughing. Clover was ploughed into the soil. Straw and crop residues were not removed from the field.

Every year in September the soil samples (0–20 cm) were taken for chemical analyses from all treatments of all rotation fields. At the Agricultural Research Centre located at Saku, soils were tested for phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg) and calcium (Ca) content according to the Mehlich 3 method. At the Plant Biochemistry Laboratory of the Estonian University of Life Sciences, for available phosphorus (P_{AL}) and potassium (K_{AL}) the soils were extracted with the ammonium lactate solution (AL-method). The exchangeable magnesium and calcium in the soils were extracted with 1 M ammonium acetate solution at pH 7.0 (NH_4OAc -method). Organic carbon (C_{org}) content in the soil was determined after dry combustion by elementary analyzer.

In our experiment that lasted seven years, for all the treatments no significant changes in the soil C_{org} content was shown. For the CONFYM treatment the significant ($p < 0.05$) decrease of soil pH occurred over this period. For all the treatments the fluctuations of P_{Me3} content in the soil were extremely marginal and there revealed no differences between treatments. In the last two years of the experiment, the P_{AL} contents in the soil showed a lightly increasing tendency which may be explain with several positive factors at this time. The contents of K_{Me3} and K_{AL} in the soil were decreasing for the ORG treatment over seven years. The application of

FYM at the rate of 60 t ha^{-1} during the 5-year crop rotation sustained the soil fertility status, especially for plant-available K and Mg. Different farming methods revealed no significant changes in the dynamics of Ca_{Me3} and Ca_{AL} values in the soil. Comparison of the soil analysis results performed by the Mehlich 3 method with the results obtained by the alternative extraction methods showed that the correlations for P and Ca were weaker than for K and Mg. In addition, it was shown that the P_{Me3} / P_{AL} quotient was inversely proportional to the Ca_{Me3} values.