

Maaelu Teadmuskus
Eesti Maaülikool
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Centre of Estonian Rural Research and Knowledge
Estonian University of Life Sciences
Institute of Agricultural and Environmental Sciences

AGRONOOMIA

Agronomy

2023

MAAELU TEADMUSKESKUS
EESTI MAAÜLIKOOL

AGRONOOMIA 2023

Kogumik ilmub Eesti maaelu arengukava 2014–2020 meetme “Teadmussiirde programm põllumajanduse, toidu ja maamajanduse tegevusvaldkonnas” taimekasvatuse valdkonna raames. Toetab Euroopa Maaelu Arengu Põllumajandusfond.



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa investeeringud
maapiirkondadesse



MAELUMINISTEERIUM

TOIMETUS

Ilme Tupits
Ülle Tamm
Merili Toom
Sirje Tamm
Marko Kass

Kogumik ilmub teaduskonverentsiks Agronoomia 2023

Autoriõigus kuulub Maaelu Teadmuskeskus, varalised õigused kuuluvad materjali tellijale. Materjal valmis Maaeluministeeriumi ning Põllumajanduse Registre ja Informatsiooni Ameti (PRIA) tellimusel 2023. a. Kõik autoriõigused on kaitstud.

© 2023 Maaelu Teadmuskeskus
Eesti Maaülikool
Trükitud trükikojas Rebellis
ISSN 1736-6275

Mullateadus ja maaviljelus

Orgaanilise süsiniku radade ja akumulatsiooni-kohtade paljususe Eestimaa muldkattes <i>Raimo Kõlli</i>	8
Põllumaade mullastiku mitmekesisus ja muldkeskne kasutus <i>Kaire Rannik, Raimo Kõlli</i>	18
Mulla orgaanilise aine labiilsus sõltuvalt väetamisest <i>Kristi Kõva, Karin Kauer, Alar Astover</i>	24
Humaatidega rikastatud mullaparandaja mõju mullaelustikule ja saagile <i>Annely Kuu, Mari Ivask, Merit Sutri, Marian Põldmets, Merrit Shanskiy</i>	33
Hapestatud veise vedeldõnniku mõju suviõdra saagile, mulla keemilistele ja mikrobioloogilistele näitajatele OÜ Voore farm tootmispõllul <i>Liina Edesi, Elina Karron, Tiina Talve, Raivo Vettik, Taavi Võsa, Kalvi Tamm</i>	44
Kaltsiumi ja magneesiumi sisalduse muutus pikaajalises mahekülvikorras <i>Liina Talgre, Viacheslav Ereemeev, Jaan Kuht, Anne Luik</i>	54
Taimedele omastatava fosfori sisaldusest mullas ja selle määramisest <i>Tõnu Tõnutare, Tõnis Tõnutare, Raimo Kõlli, Kadri Krebstein</i>	59

Taimikasvatuse

Varajase ja hilise talinisu sordi saagi ja kasvuaja võrdlus temperatuuri ja talvekahjustuse taustal <i>Triin Saue, Reine Koppel</i>	72
Ilmastiku mõju talinisu sortide morfoloogilistele tunnustele ja talinisu saagikusele <i>Merlin Haljak, Reine Koppel, Anne Ingver</i>	84
Teraviljade arabinoksülaani sisaldus sõltuvalt viljelusviisist, ilmastikust ja sordist <i>Maiis Korge, Maarika Alaru, Indrek Keres, Banafsheh Khaleghdoust, Kaidi Möll, Evelin Loit</i>	91
Kikerherne (<i>Cicer arietinum</i> L.) sortide võrdluskatsete tulemused 2018–2022. a <i>Lea Narits</i>	103
Kartuli saagikus erinevate lämmastikväetiste normidega 2022. aasta andmetel <i>Tiina Lätt, Triin Saue, Terje Tähtjärvi</i>	108

Taimekaitse

Keemiliste taimekaitsevahendite kasutamise trendid <i>Mati Koppel, Anne Must, Karin Nurme</i>	115
Mõnede umbrohtude võimalikust herbitsiidiresistentsusest Eestis esmaste skriininguandmete alusel <i>Silvia Pihu</i>	124
Fungitsiidiresistentsuse levik võrklaiksuse tekitaja <i>Pyrenophora teres f. Teres</i> Eesti populatsioonis <i>Regina Pütsepp, Riinu Kiiker, Lee Põllumaa, Andres Mäe</i>	135
Rapsi peitkärsakad ja nende kiletiivalised parasitoidid <i>Silva Sulg, Riina Kaasik, Eve Veromann</i>	145
Agrotehnoloogiliste võtete mõju taimahaiguste esinemisele suviteraviljadel Jõgeval 2022. aastal <i>Elina Karron, Merili Toom, Tiia Kangor, Merlin Haljak, Tiina Talve</i>	152
Herbitsiidide mõjust sojaoa taime pikkusele, seemnesaagile ja selle kvaliteedile <i>Tiia Kangor, Lea Narits</i>	162
Pestitsiid sulfoksafloori mõju karukimalase (<i>Bombus terrestris</i>) töölistele, isastele ja emadele akuutse kontaktmürgistuse korral <i>Margret Jürison, Reet Karise, Marika Mänd</i>	169

Mitmesugust

Lamba-aruheina seemnekasvatus <i>Ants Bender</i>	177
Rohusööda toiteväärtuse muutused segudes karjamaa-raiheina mõjul <i>Heli Meripõld, Uno Tamm, Silvi Tamm, Sirje Tamm, Taavi Võsa, Priit Pechter</i>	185
Õunapuude vegetatiivne kasv ja viljakandvus noores renoveeritud istandikus <i>Toivo Univer</i>	192

Soil science and soil management

Plurality of organic carbon's pathways and storage places in Estonian soil cover <i>Raimo Kõlli</i>	8
Pedodiversity of arable lands and pedocentric land use <i>Kaire Rannik, Raimo Kõlli</i>	18
Lability of soil organic matter depending on fertilization <i>Kristi Kõva, Karin Kauer, Alar Astover</i>	24
The effect of humate-enriched soil-conditioner on soil biota and crop yield <i>Annely Kuu, Mari Ivask, Merit Sutri, Marian Põldmets, Merrit Shanskiy</i>	33
The effect of acidified cattle slurry application on the yield of spring barley, chemical and microbiological property of the soil in the field of Voore Farm OÜ <i>Liina Edesi, Elina Karron, Tiina Talve, Raivo Vettik, Taavi Võsa, Kalvi Tamm</i>	44
Changes of soil calcium and magnesium content in a long-term organic crop rotation experiment during one rotation <i>Liina Talgre, Viacheslav Ereemeev, Jaan Kuht, Anne Luik</i>	54
About the plant available phosphorus in soil and methods of its determination <i>Tõnu Tõnutare, Tõnis Tõnutare, Raimo Kõlli, Kadri Krebstein</i>	59

Field crops

Yield and growing time of an early and a late winter wheat variety based on temperature and wintering conditions <i>Triin Saue, Reine Koppel</i>	72
Effect of weather on the morphological characteristics of winter wheat and the yield of winter wheat <i>Merlin Haljak, Reine Koppel, Anne Ingver</i>	84
Cereals arabinoxylan content depending on cropping system, weather conditions and variety <i>Mailis Korge, Maarika Alaru, Indrek Keres, Banafsheh Khaleghdoust, Kaidi Möll, Evelin Loit</i>	91
Results of comparison tests of chickpea varieties in 2018–2022 <i>Lea Narits</i>	103
Potato yield under different nitrogen treatments in 2022 <i>Tiina Lätt, Triin Saue, Terje Tähtjärvi</i>	108

Plant protection

Trends in use of plant protection products <i>Mati Koppel, Anne Must, Karin Nurme</i>	115
Possible herbicide resistance in some weed species in Estonia according to the preliminary screening data <i>Silvia Pihu</i>	124
Fungicide resistance in net blotch causing pathogen <i>Pyrenophora teres f. teres</i> population in Estonia <i>Regina Pütsepp, Riinu Kiiker, Lee Põllumaa, Andres Mäe</i>	135
Oilseed rape weevils and their <i>Hymenopteran</i> parasitoids <i>Silva Sulg, Riina Kaasik, Eve Veromann</i>	145
Impact of agrotechnological techniques on the diseases severity of spring cereals in a field experiment at Jõgeva in 2022 <i>Elina Karron, Merili Toom, Tiia Kangor, Merlin Haljak, Tiina Talve</i>	152
Impact of herbicides on plant height, seed yield and quality of soybean <i>Tiia Kangor, Lea Narits</i>	162
Effects of pesticide sulfoxaflor on worker, queen and male bumble bees (<i>Bombus terrestris</i>) in acute contact toxicity <i>Margret Jürison, Reet Karise, Marika Mänd</i>	169

Miscellaneous

Seed production of sheep fescue <i>Ants Bender</i>	177
Changes in the nutritional value of grass mixtures under the influence of perennial ryegrass <i>Heli Meripõld, Uno Tamm, Silvi Tamm, Sirje Tamm, Taavi Võsa, Priit Pechter</i>	185
Vegetative growth and fruit bearing of apple trees in a renovated orchard <i>Toivo Univer</i>	192

MULLATEADUS JA MAAVILJELUS

ORGAANILISE SÜSINIKU RADADE JA AKUMULATSIOONI-KOHTADE PALJUSUS EESTIMAA MULDKATTES

Raimo Kõlli

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Kõlli, R. 2023. Plurality of organic carbon's pathways and storage places in Estonian soil cover. – Agronomy 2023.

Soil organic matter (SOM) plays leading role in functioning of the soil cover. The concentrations, storages, throughout fluxes via the soil cover and biological processes bind with SOM and contained in it organic carbon (OC) depend besides of soil properties also from land use peculiarities. Our studies on Estonian soils' humus status were proceeded on the level of soil species, taking into account their genetic horizons and land use (forest, arable or grasslands). With highest SOM/OC accumulation capacity in soil covers are peat, forest floor, raw-humic and humic horizons. The superficial densities of SOM/OC in soil cover depend in addition to concentration from horizons thickness, but the total storage in soil cover from different soil species' distribution area. The main properties, which are determine soil horizons' SOM/OC contents, are water regime, textural composition and acidity of soil. By soil watering the dominated soil groups are wet mineral > wet organic > fresh mineral (dry to slightly moist) soils (Table 1). The OC concentration in different top and subsoils' genetic horizons in relation to dry soil weight and to soil volume are given in Table 2. The generalized OC sequestration capacities (Mg ha⁻¹) of soils are presented by genetically similar soil groups (Table 3). By our estimation in whole soil cover of Estonia (42,400 km²) totally 594±37 Tg OC have been accumulated (Table 4). From this stock approximately 65% have been accumulated into topsoil or humus cover and 35% into subsoil. In the final part the pedo-ecological principles of carbon farming is analysed.

Keywords: soil organic matter, organic carbon, soil horizon, retaining capacity of OC, pedo-ecologically sound management of SOM, storage of OC in soil cover

Sissejuhatus

Muldade talitlemises etendab juhtivat rolli mulla orgaaniline aine (MOA), mille sisend mulda (varude täienemise moodused), mullas toimuvate bioloogiliste ja bio-keemiliste muutuste iseloom, akumulatsioon stabiilse huumuse kujul huumuskattesse ning muldkattest väljumise teed erinevad suurel määral mulla-liikide lõikes. Samas on MOA ja tema koostises oleva orgaanilise süsinikuga (OS) seotud talitlemised omakorda mõjutatud maakasutusest ning sellest tuleneva aineringe avatuse suurendamise ja subsideerimise vajadusest. Kuid MOA/OS sisaldus mullahorisontides sõltub ennekõike ikkagi mulla sisemistest (*intrinsic*) omadustest, millistest olulisimad on mullaerimite lõimis, veerežiim ja happesus.

Töö eesmärkideks on: (1) selgitada Eesti muldade jaotust veeolude järgi ja veerežiimide mõju mulla geneetiliste horisontide OS sisaldusele; (2) selgitada MOA/OS akumulatsiooni pedo-ökoloogilisi seaduspärasusi nii huumuskattes

kui ka alusmullas; (3) esitada mullaliigi arengult lähedaste mullagruppide põhine OS pindtiheduse kalkulatsioon; (4) arutleda muldade huumusseisundi muutmise võimalusi CO₂ mulda sidumise suurendamise ja muldkattest toimuva emissiooni vähendamise kaudu.

Käsitluse metodoloogilised aspektid

Töös kasutatud Eesti mullastikku iseloomustavad arvandmed pärinevad Eesti Põllumajandusprojekti (EPP) seeriaväljaannetest (EPP, 1978, 1983, 1985), autori poolt koostatud andmebaasist PEDON ja varemalt meie poolt publitseeritud artiklitest (Kõlli jt, 2009, 2010, 2020). Kaasaegse mullapoliitika käsitlused ja arutelud pärinevad Euroopa vastavatest dokumentidest (EC, 2021a, 2021b; EU, 2022) ja kriitilistest analüüsides (Rodrigues jt, 2021; Appunn, 2022).

Läbi muldkatte toimuva MOA voo kvantitatiivseid näitajaid ei käsitleta töös kuivmassi alusel, vaid selles sisalduva orgaanilise päritoluga süsiniku ehk OS alusel. Seda põhjusel, et MOA OS sisaldus erineb MOA koostiscomponentide ja arenguastmete lõikes.

Mullateaduse seisukohalt lähtudes käsitleme turvasmuldkattena vaid turbalasundi pealmist kuni 50 cm kihti ning selle aktiivselt talitleva kasvukihina ehk turvas-huumuskattena (sarnaselt mineraalmuldadega) selle pindmist 30 cm paksust kihti. Kõiki looduslikke turvas-huumuskatteid katab pinnalt kobedam ja paremini õhustatud turvastumata varise kiht, kui turvasmulla kasvukihi olulisim osa, mida turvasmuldade puhul eraldiseisva kihina ei käsitleta.

Muldade jaotus veolude järgi ja orgaanilise aine poolest rikkad mulla-horisonid

Orgaanilise süsiniku kontsentratsioon ja varu ning toimimise dünaamika ei ole kaugeltki mitte ühesugune kõigis muldades, kuna esineb loendamatu hulk erineva iseloomuga olukordi. Muldade huumusseisundid erinevad mitte ainult biokliima võõtmete, vaid suuresti ka piirkonna mulla liikide (ja/või erimite) lõikes, sõltuvalt mulla omadustest (veerežiim, lõimis, karbonaatsus) ja muldkatte majandamise viisidest.

Kui pinnakatte pealmises kihis ei ole küllaldaselt määral orgaanilist ainet ning puudub selle kihi ja taimkatte (kui mulla esmase OS allika) koostoime, siis ei ole tegemist mulla vaid hoopiski pinnasega. Olenevalt mulla veerežiimist kujunevad erineva koostise ja ülesehitusega MOA poolest rikastunud horisonid (varise, huumuse, toorhuumuse või turbaga) või nende kombinatsioonid, moodustades erinevat tüüpi huumuskatteid ehk huumusvorme. Veeoludest tingitud huumuskatete mitmekesisust näitab mullaliikide arvukus veerežiimi gruppide kaupa Eesti muldade klassifikatsioonis (tabel 1).

Tabel 1. Eestimaa muldkatte mullaliikide jagunemine veeolude järgi

Muldade veeolud	Mullaliikide	
	arv	pindala, %
Põuakartlikud mullad	10	2,0
Parasniisked mullad	27	21,8
Niisked ehk ajutiselt liigniisked mullad	28	16,4
Märjad ehk liigniisked glei-mullad	21	29,4
Märjad ehk alaliselt liigniisked turvastunud mullad	8	6,4
Turvas- ehk soomullad	17	23,7
Tehismullad (parasniisked või niisked)	17	0,2
Veealused mullad	2	<0,1

Põuakartlikes, parasniisketes ja niisketes haritavates muldades akumulēerub valdav osa MOA-st huumushorisoni kujul. Märgadel mineraalmaadel akumulēerub see toorhuumusliku horisonina ja/või õhukese (< 30 cm) turbakihina. Turvasmuldadel on MOA (ehk turvas) akumulēerunud > 30 cm tūsedusega turba-horisoni. Kōiki neid orgaanilise aine akumulatsiooni-horisoni vōib looduslikel aladel katta erineva pāritolu, vanuse ja lagunemisastmega varise kiht. Traditsiooniliselt nimetatakse mineraalmaadel esinevat varise kihti vastavalt metsa vōi rohumaa kōduks, kuigi neis sõna otseses mōttes selline materjal nagu kōdu (peenestunud osistest koosnev hāstilagunenud orgaaniline aine) valdavas osas puudub. Kōdu oma õiges tēhendes esineb enamasti kihistunud varise mineeraalse mullaga vahetus kontaktis olevas osas.

Orgaanilise aine akumulatsiooni-horisonide ūlesehituses ja talitlemises kajastuvad nii mulla mineeraalse osa koostisest (karbonaatsus, lōimis) ja veerežiimist kui ka maakasutusest (pōld, rohumaa, mets) tingitud iseārasused. Soomuldade pindmiste aktiivselt talitlevate turvasmuldade turbad jagunevad liikideks toitliste (liigniiskust pōhjustavate) vete koostise ning varemalt ladestunud turbaliigi ja selle tūseduse alusel. Normaalses arengutingimustes moodustunud orgaanilise aine akumulatsiooni-horisonide kōrval esineb rida nende ūlesehitust ja omadusi olulisel mēāral muutvaid erijuhtusid ehk anormaalsusi. Taolisteks nāhtusteks on alluviaalsete setete lisandumine jōe lammidele ja mere rannikutele, erosioonist ja deluuviumi pealeuhtest mōjutatud huumuskatete teke ning tehismuldkatete rajamine. Esineb kahjuks ka rikitud ehk degradeerunud huumuse, toorhuumuse ja turba horisoni.

Omapāraseks huumuse akumulēerumise vormiks on leetunud ja leedemuldade alusmulla erinevate vahekordadega huumus- ja/vōi rauarikkad sisseuhtehorisonid, mis on tekkinud vees lahustuva fulvaatse huumuse ja rauaūhendite liikumisel lābi leethorisoni ja sadestumisel selle alla. Need, erineval mēāral (6–24 g kg⁻¹) OS sisaldavad kihid, on isoleeritud pindmisest aktiivsest kihist ja seega ei osale tavakohases bioloogilises ainerings. Veelgi enam, olles toksilise mōjuga vōi

hoopiski tsementeerunud (nõrgkivi), takistavad need horisondid nii juurestiku levikut leethorisondist suurema potentsiaalse viljakusega lähtekivimisse, kui ka toitelementide rikkama kapillaarse vee tõusu bioloogiliselt aktiivsesse mullakihti.

MOA akumulatsiooni-horisontide omadustest ja ökoloogiast

Erinevate mullahorisontide koodid, nende jagunemine pealis- ja alusmulla lõikes ning nende OS sisalduse võimalikud piirväärtused massi ja mahu alusel on esitatud tabelis 2 Eesti muldkatte andmebaasi PEDON järgi.

Tabel 2. Mulla geneetiliste horisontide OS kontsentratsioonid massi ja mahu kohta

Mulla horisont	Kood	Mulla-kiht	OS, g kg ⁻¹	OS, g dm ⁻³
Metsakõdu	O		220–410	22–45
Huumushorisont põllumullal	A		12–20	16–34
Huumushorisont metsamullal	A	Pealis-	14–36	19–44
Toorhumuslik horisont	AT	muld	34–55	26–58
Rabaturvas, 0–30 cm	T1		440–480	22–24
Madalsooturvas, 0–30 cm	T2 T3		410–470	57–66
Väljauhtehorisondid	El Ea		3–6	4–9
Karbonaatsete muldade sisseuhtehorisondid	Bw Bt	Alus-	4–9	6–14
Leetmuldade sisseuhtehorisondid	Bs Bsh Bh	muld	2–8	3–12
Rabaturvas, 30–50 cm	T1 T2		450–460	27–28
Madalsooturvas, 30–50 cm	T2 T3		435–450	65–70

Kõige tuntum muldkatte osa on huumushorisont kui mullakiht, mis kajastab muldkatte talitlemist ja omadusi ning suhet taimkattega hästiõhustatud (aeromorfsetes) tingimustes. Huumushorisondi olulisemate kvantitatiivsete näitajate (tüsedus ja OS sisaldus) kõrval on kindlaks tehtud suur hulk pedo-ökoloogilisi seaduspärasusi, mis on olulised mulla huumusseisundi hindamisel. On selgunud, et mulla huumushoiuvõime suureneb seoses tema füüsikalise savi sisalduse suurenemisega ehk lõimiste reas: liiv < saviliiv < liivsavi < savi. Tõestatud on mulla huumushoiuvõime suurenemine minnes vähekarbonaatsetelt muldadelt karbonaadirikaste suunas ehk muldade reas: leetunud < kahkjad < leetjad < leostunud < rähksed mullad. Veeoludest lähtuvalt on usaldusväärset suurema OS sisaldusega (ca 2–5 g kg⁻¹ ehk 10–20% võrra) niisked mullad võrreldes parasniisketega. Põuakartlike muldade suhtes ei ole tugevasti varieeruvate huumuse moodustumise tingimuste tõttu taolisi usaldusväärseid seaduspärasusi selgunud. Huumushorisondi OS allikaks looduslikel muldadel on taimkatte maapealsest osast (metsavõi rohumaade kõduhorisondina esinev) ja juurestikust (rohukamarast) pärinev varis. Põllumuldadel võivad eelkultuuri varisele lisanduda orgaanilised väetised.

Erinevalt teistest muldadest on loomuldade huumushorisonid eriti kõrge OS sisaldusega. See nähtus on tingitud nende (õhukeste karbonaatsete muldade) ajutisest läbikuivamisest, mille tagajärjel MOA lagundajate elutegevus lakkab, MOA tihkestub ja seotakse tugevasti mulla mineraalse osaga. Seega muutub MOA mullaelustikule raskesti kättesaadavaks. Paljuski erinevad ka haritavate kallakuliste alade vee erosioonist häiritud huumuskatted, milliste puhul kehtivad parasniiskete muldadega sarnased seaduspärasused karbonaatsuse ja mulla lõimise suhtes. Kuid lisaks nendele vähenevad erodeeritud huumushorizontide OS sisaldused nõrgalt erodeeritud muldadelt tugevasti erodeeritute suunas. Erodeeritud muldadega koosesinevate parasniiskete või niiskete deluviaalsete muldade huumushorizontide OS sisaldus pindmises (30 cm) kihis oleneb pealeuhutatud materjali mullaliigist ja selle erosiooni astmest. Deluviaalmuldades on märkimisväärselt suured OS varud maetud 30 cm-st sügavamale ning seega eemaldatud aktiivsest süsiniku ringest.

Alaliselt liigniisketel ehk märgadel gleimuldadel, kus humifikatsioon on pidurdunud liigniiskuse ja mineralisatsioon vähese hapnikusisalduse tõttu, on orgaaniline aine akumulatsioon toorhuumusliku horisonidina. Toorhuumuslik horisont, olles loomult huumus- ja turbahorisoni vahepealne moodustis, on suurtes piirides varieeruv nii OS kontsentratsiooni kui ka koguhulga (pindtiheduse) osas. Toorhuumuslikus horisondis on OS akumulatsioon tugevasti peenestunud orgaanilise aine moodustamata stabiilseid sidemeid mulla mineraalsete osakestega ning stabiilse huumuse osa on siin tagasihoidlik. Märgade muldade toorhuumusliku horisoni suurem OS akumulatsioonivõime on tingitud anaeroobsete tingimuste konserveerivast mõjust. Toorhuumuslike horisontide kuivendamisel taandus(anaeroobsed)tingimused asenduvad hapenduslike ehk aeroobsete tingimustega ja huumuse akumulatsiooni mehhanism muutub järjest enam sarnasemaks niiskete ja parasniiskete muldadega.

Kui karbonaadirikastel lähtekivimitel või kareda lubjarikka toitevee tingimustes on toorhuumuslik horisont kaetud mullaelustiku poolt läbisegatud hästilagunenud varise kihiga, siis karbonaativaeste liivade ja saviliivade ning happelistes tingimustes on varis (metsa või rohumaade kõdu) kihistunud kolme kuni nelja erineva iseloomuga allhorisonti, alates pinnal lasuvast lagunemata maapealsest värskest varisest ja lõpetades hästilagunenud varise (kõdu) kihiga mulla mineraalse osa pinnal. Suhteliselt hästi on tajutav OS hoiuvõime suuremine märgadelt happelistelt gleimuldadelt karbonaatsete (rähk)muldade suunas. Samas ei sõltu märgade muldade huumushoiuvõime niivõrd mulla lõimisest kui toitvate vete karbonaatsusest. Lammi ja ranniku gleimuldade toorhuumuslikes horisontides leidub rohkesti üleujutusvee hõljumist pärinevat tolmu ja saviosakesi ning sageli ka liiva vahekihte. Märgade deluviaalmuldade toorhuumuslikud hori-

sondid on enamasti maetud ehk kaetud түseda deluviaalse huumushorisonдiga.

Mineraalsete metsa- ja rohumaade kõdu, mis on sisuliselt erinevas lagunemisjärгus olev taimkatte varis ehk mullaväline orgaaniline aine, on kardi-naalselt erinev karbonaatsetel ja mittekarbonaatsetel muldadel olenemata nende veerežiimist. Karbonaatsete muldade pehmehumuslik (*mull-tüüpi*) kõduhori-sont on tänu soodsatele mullaelustiku talitlemistingimustele hästilagunenud, segunenud tema all asuvate mineraalsete kihtidega (ehk ei ole kihistunud) ning ühe aasta varis laguneb siin peaaegu täielikult 1–3 aasta jooksul. Teiseks äär-museks metsa-(rohu-)maade kõdude hulgas on tugevasti happelistes tingimustes paljude aastate (7–10) varise түse kihistunud kujul esinev mullaväline orgaanilise aine (*moor-tüüpi* kõdu) kiht. Kahe nimetatud äärmuslike tingimuste vahepeal-sel alal esinevad aastavarise mõõduka (keskmise) lagunemise ajaga (4–6 aastat) 2–3 kihilised (*moder-tüüpi*) kõduhorisondid. Tänu taolise *moder-tüüpi* kõdukihi mõõdukale happesusele ja optimaalsele түsedusele, talitleb ta mulda kaitsva katte-kihina, kuid võimaldades samas ka mullaliigile omaste rohu- ja samblarinnete eksisteerimist. *Mull-tüüpi* huumuskatted (metsakõdu koos huumushorisonдiga) esinevad peamiselt erinevate veoludega paepealsetel, rähksetel ja leostunud muldadel, *moder-tüüpi* leetjatel, kähkjatel ja leetunud muldadel ning *moor-tüüp* leedemuldadel.

Meie maastike suurima OS sisalduse (g kg^{-1}) ja pindtihedusega (Mg ehk tonni hektari kohta) on turvasmullad. Juhtiva turvasmulla tekketeguri, toiteliste vete mineraalsete ainete ja hapnikurikkuse järgi, eristuvad toiteelementide rikkad (eutroofsed – pinna- ja põhjavete toitega) madal-soo ja toiteelementidest vaesed (oligotroofsed – sademete vetest toituvad) raba (kõrgsoo) turvasmullad. Madal- ja rabaturvasmuldade üleminekuala siirdesoo turvasmuldade pindmine turba (kasvu) kiht on muutunud sarnasemaks rabamullaga ehk toimub üleminek toiterikaste pinnavetega toitumiselt sademetest pärinevate vetega toitumisele. Toitainete rik-kuse kõrval on turvasmuldade olulisemateks tunnusteks turba lagunemisaste ja sellest sõltuv lasuvustihedus ning happesus.

Peale normaalse tekkega madal-soo turvasmuldade esineb meie maastikes ka lammi ja ranniku madal-soomuldased, millede iseärasuseks on turba tavalisest kõrgem mulla mineraalsete osiste sisaldus. Ammendatud turbakarjääride taimes-tamata alasid on õigem nimetada turbapinnasteks, mille rekultiveerimisel saame tehislikud turvasmullad. Turvasmuldade efektiivne põllu- ja metsamajandus-lik kasutamine ei ole mõeldav ilma kuivendusega, mis muudab turvasmuldade pealmise kihi õhustuse tõttu sobivaks taimestiku juurestikule ja võimaldab turba kiirema lagunemise tõttu sinna ladestunud toiteelementide järjepidevat kätte-saamist taimkattele. Kuivenduse tagajärjel tekib pindmisse kihti suurenenud lasu-vustihedusega hästilagunenud (kõdu-) turvas. Meie maastikes leidub ka loodus-

liku tekkega kõduturbaid kohtades, kus toitevesi on karbonaatne ja hapnikurikas ehk liikuv. Taolist olukorda esineb lodudes ja allikalistel (survelise põhjaveega) aladel, näiteks rusukalde turvasmuldades.

Alusmulla orgaanilise päritoluga süsinik

Orgaaniline süsinik esineb vähemas kontsentratsioonis ka alusmullas. Erandiks on huumus-illuviaalsed horisondid, kus OS võib ulatuda võrdselt huumushorisondiga kuni 15–25 g kg⁻¹, kuid erinevalt huumushorisondist ei osale alusmulla OS aktiivses ringluses. Teistest, nii põllu- kui metsamuldade alusmulla horisontidest, on suurima OS sisaldusega metamorfsed ja tekstuursed sisseuhte horisondid (5–9 g kg⁻¹). Vähem on OS-i eluviaalsetes horisontides (2–6 g kg⁻¹) ning hoopiski tagasihoidlikult lähtekivimites (0,5–1 g kg⁻¹). Samas esineb paljude muldade (eriti karbonaatsete) mineraalse osa koostises rohkesti fossiilset süsinikku. Kõige rohkem aga paepealsetes ja tugevasti rähksetes muldades, mis on rikkad paekivi (lubjakivi ja/või dolomiidi) korese poolest, mille süsinikusisaldus on ligikaudu 120–130 g kg⁻¹ kohta.

Töö autor on seisukohal, et ei ole õige arvata talitleva turvasmuldkatte hulka seda OS, mis asub 50 cm-st sügavamal. Turbalasundi түsedused võivad ulatuda kohati kuni 7–8 meetri sügavuseni. Selles, turvasmuldkatte aluses kihis sisalduv OS ladestumisvanusega üle 550–1400 aasta (rabades > 5,5–10, madalsoodes > 12–14 sajandit) ei osale sügava lasumise tõttu aktiivses süsinikuringes. Muldkatte all paiknevaid turbalasundeid tuleks käsitleda kui maavarasid, mis võivad muutuda muldkatteks vaid pealmiste turbakihtide eemaldamise tagajärjel. Analoogiline situatsioon on täheldatav maapinnani ulatuva põlevkivi lademetepuhul, millised sisaldavad OS kõrval (110–260 g kg⁻¹) olulisel hulgal (15–40 g kg⁻¹) fossiilset (karbonaatsetes mineraalides olevat) süsinikku.

Peale talitleva muldkatte esinevad maastikes ka õhukese veekihi ja taimestikuga kaetud veekogude kallaste ja rannikute veealused mullad. Maismaa ja veekogude üleminekuala veealuste muldade huumuskate on tavaliselt õhuke, kuid kõrge OS sisaldusega. Teatud vähene kogus OS esineb ka lahustunud olekus veekogudes.

Orgaanilise süsiniku koguvarud Eestimaa muldkattes

Orgaanilise aine pindtiheduse ehk OS mahutusvõime andmed viie muldade rühma kohta näitavad, et kõige suurema OS mahutamisevõimega on turvas ja turvastunud mullad (tabel 3). Samas on suurima aastaproduktiivsusega nii metsades kui ka haritavatel maadel ikkagi väiksema OS mahutamisevõimega parasniisked liivsavi- ja saviliivmulla erimid. Mullarühmade kaupa tehtud üldistuste aluseks on olnud erinevate mullaliikide horisontide keskmised näitajad

erinevate maakasutusviiside (põld, mets, rohumaa) korral. Loomulikult võivad mingi konkreetse paiga muldade näitajad erineda suuremal või vähemal määral

Tabel 3. Näiteid Eesti muldade OS pindtihedustest ehk OS mahutusvõimetest (Mg ha^{-1}) erinevate mullarühmade kaupa

Muldade rühm	Muldkatte tüsedus, cm	Keskmine OS hoiuvõime, Mg ha^{-1}
Automorfsed karbonaatsed mullad	74,7±18,3	92,0
Automorfsed mittekarbonaatsed mullad	91,9±19,4	64,8
Hüdromorfsed karbonaatsed mullad	47,3±17,2	133,9
Hüdromorfsed mittekarbonaatsed mullad	67,8±19,2	95,8
Rabametsa turvasmullad	50	120–155
Madalsoo-metsa turvasmullad	50	300–370

üldistatud näitajatest.

Tabelis 4 esitatud Eestimaa muldkatte OS koguarvud on kalkuleeritud mullaliikide (või nende omadustelt sarnaste rühmade) põhised, kasutades andmebaasi Pedon. Mullaliikide leviku andmed erinevate kasutusviiside lõikes on saadud Eesti suuremõtkavalise kaardistamise andmebaasidest. Kuna muldade detailne jaotus mullaliikide ja maakasutusviisi lõikes moodustas 81% Eestimaa muldkatte kogupindalast (42400 km^2), on väljavõtte alusel saadud tulemused korrutatud koefitsiendiga 1,23. See tähendab, et täpsemalt uurimata ala mullaliikide

Tabel 4. Mullaliigi horisontide, kasutusviisi ja leviku alusel kalkuleeritud Eesti muldkatte (42400 km^2) OS koguarvud (Tg-des)

Muldkatte kiht	Varu, Tg	Jaotus, %%-des
Pealismuld ehk epipedon	385,3±27,5	64,9
sh. metsakõdu ja õhuke metsaturvas	ca 94,0	15,8
Alusmuld	208,5	35,1
Muldkate kokku	593,8±36,9	100,0

leviku struktuur on võetud analoogseks detailselt uuritud alaga.

Võimalused täiendava OS koguse sidumiseks muldkattesse

Seoses süsinikuneutraalsuspoliitika juurutamisega on tähelepanu alla võetud muldade / muldkatte poolt pakutavad võimalused. Muldkatte roll selles poliitikas on seotud kahe vastandliku nähtusega. Ühelt poolt otsitakse võimalusi senisest suurema hulga OS sidumiseks muldkattesse. Teiselt poolt tahetakse ära hoida või leevendada MOA normaalseks talitlemiseks vajalikust kiirem mineraliseerumine. Muldade kasutamise praktika ja teaduslikud uurimused on tõestanud teatud hulga võimalusi mõlema kahe suuna suhtes. Samas ei ole need võimalused

üheselt kasutatavad kogu muldkatte kohta, kuna peale teatud kindlate üldiste seaduspärasuste eksisteerib palju mulla liigist ja kasutusviisist tingitud erisusi.

Otstarbekas muldade OS kasutamine põhineb selle olemasoleva seisundi ja mullaliigile omase optimaalse taseme tundmisel. Kui olemasolev seisund (huumushorisoni OS kontsentratsioon ja tüsedus) on mullaliigi ja maakasutuse suhtes oluliselt kehvemad võrreldes optimaalse tasemega, siis on suure tõenäosusega tagatud lihtsalt käsitletav võimalus OS hulga suurendamiseks mullas. Kui on saavutatud optimaalne huumusseisundi tase, siis on täiendava OS koguse mulda kinnistamine raskendatud. Hoopiski keeruline ja ebaotstarbekas on püüde suurendada OS varusid OS poolest üleküllastatud muldades.

Mulla orgaaniline aine on vajalik mullaelustiku talitlemiseks ja samal ajal taimkatte varustamiseks sellest pärinevate toiteelementidega. On selge, et taoliste protsesside täielik kontroll on keeruline. Küll aga on võimalik selle efektiivsem kasutamine, ajastades toiteelementide vallandumise kooskõlas nende vahetu tarbimisega. Tuntumaks agroökosüsteemide talitlemise efektiivsuse suurendamise võtteks on (sarnaselt looduslike ökosüsteemidega) pideva taimkatte olemasolu fotosünteesiks sobival perioodil. See võte tagab vabanenud toiteainete bioloogilise mobilisatsiooni ja täiendava (fütomassi seotud) OS akumulatsiooni. Taimkatte puudumisel MOA lagunemine ei peatu, samas kui uue orgaanilise aine produtseerimine mulla ja ökosüsteemi hüveks lakkab.

Ülehinnatud on ehk maakasutuse muutusega seotud võimalused. Meie varasemad uurimised on tõestanud, et parasniiskete ja niiskete mineraalmuldade OS varud ei muutu maakasutuse muutuste toime oluliselt. Kuigi muutuvad oluliselt huumuskatete ülesehitused ja OS kontsentratsioonid nendes, ei esine samas olulisi erinevusi nende huumuskatete OS koguvarudes ühtede ja samade mullaerimite puhul. Küll aga on täheldatavad suured varude muutused seoses maade kuivendamisega. Negatiivseks nähtuseks on OS varude ja kontsentratsiooni vähenemine kuivendatud mullas. Taoline vähenemine on seaduspäraselt paratamatu, kuna toorhuumuslik horisont tasakaalustub uuel, parasniiskete või niiskete muldadega sarnasel tasemel. Kuivendamise positiivne mõju avaldub aga selles, et suureneb produktiivsus ehk uue OS koguse sidumine ökosüsteemi ja paraneb huumuse kvaliteet stabiliseerunud huumuse osakaalu suurenemise tõttu. Endise veerežiimi taastamine turvas ja gleimuldadel aeglustab mineraliseerumise kulgu, mille tõttu endistel aegadel kogutud OS säilib, kuid kahjuks väheneb ka produktiivsus ja toodetud fütomassi kvaliteet. Produktiivsuse taseme ja fütomassi kvaliteedi languse vältimise peamiseks võtteks on senistele oludele kohastunud taimestiku asendamine alaliselt märgadele muldadele kohastunud rohumaa koosluste või metsatüüpidega.

Üheks reaalsemaks OS mulda akumulatsiooniseerimise kohaks on need mullaerimid,

mille OS sisaldus (võttes nii kontsentratsiooni kui ka varu aspektist) on praegu allpool selle erimi optimaalset OS hoiuvõimet. Haritavate muldade taimiku vegetatsiooniperioodi lõpul toimuvat agroökosüsteemi OS emissiooni suurenemist saab kompenseerida järelkultuuride kasvatamisega, mis tagab pidevalt produtseeriva (atmosfääri süsihappegaasi siduva) taimkatte olemasolu kogu vegetatsiooniperioodi kestel. Tuleks vältida neid OS varude mullas säilitamise võtteid, millega kaasneb ökosüsteemi produktiivsuse vähenemine ehk uue atmosfäärist pärineva süsiniku talletamine ökosüsteemi. Üldjuhul on selleks ka mulla veerežiimi taastamine, mille tõttu üldreeglina väheneb uue OS koguse sidumine ökosüsteemi ja selle voog mulda. Siinjuures tasuks kalkuleerida, mis on mõistlikum, kas konserveerida liigvee abil mullas olev OS kogus ja leppida sellega kaasneva produktiivsuse vähenemisega või hoopiski intensiivistada OS ringet, millega kaasneb produktiivsuse suurenemine.

Kasutatud kirjandus

- Appunn, K. 2022. Carbon farming explained: the pros, the cons and the EU's plans. *Clean Energy Wire*, 14 pp.
- Eesti Põllumajandusprojekt [EPP] 1978, 1983, 1985. Eesti NSV mullastik arvudes: II-1978, III-1983, V-1985. Eesti NSV PM & ATK, IJV, Tallinn.
- European Commission [EC] 2021a. A Soil Deal for Europe – 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030. European Missions. Implemental Plan. Research and Innovation, 77 pp.
- European Commission [EC] 2021b. Carbon economy: studies on support to research and innovation policy in the area of bio-based products and services. DG for Research and Innovation, Publications Office, 384 pp.
- European Union [EU] 2022. Restoring Nature: For the benefit people, nature and the climate. *Environment*, 24 pp.
- Kõlli, R., Ellermäe, O., Köster, T., Lemetti, I., Asi, E., Kauer, K. 2009. Stocks of organic carbon in Estonian soils. – *Estonian Journal of Earth Sciences* 58(2):95–108.
- Kõlli, R., Köster, T., Kauer, K., Lemetti, I. 2010. Pedoecological regularities of organic carbon retention in Estonian mineral soils. – *International Journal of Geosciences* 1:139–148.
- Kõlli, R., Lang, M., Lutter, R., Tõnutare, T., Kauer, K., Rannik, K. 2020. Spatial Estimation of Estonian Forest Landscapes' Soil Cover Humus Status: Methods, Model samples and Assessments. Chapter 13. In: W. Mirschel, V. Terleev, K.-O. Wenkel (Eds) *Landscape Modelling and Decision Support*, pp. 257–281. Springer Nature Switzerland.
- Rodrigues, L., Hardy B., Huyghebeart, B., Fohrafellner J., Fornara, D., Barančíková G., Bárcena, T., Boever, M., Bene, C., Feizienė, D., Kätterer, T., Laszlo, P., O'Sullivan, L., Seitz, D., Leifeld, J. 2021. Achievable agricultural soil carbon sequestration across Europe from country-specific estimates. *Global Change Biology* 27: 6363–6380.

PÕLLUMAADE MULLASTIKU MITMEKESISUS JA MULDKESKNE KASUTUS

Kaire Rannik, Raimo Kõlli

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Rannik, K., Kõlli, R. 2023. Pedodiversity of arable lands and pedocentric land use. – Agronomy 2023.

This article gives a general overview of the diversity of soils based on the arable soils of three experimental stations. The factors that cause differentiation of the essential characteristics of soil cover are divided into two groups – one caused by factors intrinsic to the soil, the second by factors extrinsic to the soil. If the diversity of the soil cover depends on the variety of the parent material (geodiversity), then the soil cover itself influences not only the diversity of the plant cover but also the diversity of the community of soil organisms. The contrast of soil types is within the limits of 0–5 (min-max) by soil moisture conditions, 0–7 by soil genesis, and 0–7 by soil texture. The importance of data on soil cover composition by soil species and varieties (as taxa of Estonian Soil Classification), their distribution pattern and the contrast of their characteristics for precise management and protection of soil resources are emphasized.

Keywords: *pedodiversity, pedocentric approach, ecologically sound land use, soil protection*

Sissejuhatus

Muldkattes esinevate mullaliikide koosluse mitmekesisus ehk mullastiku mitmekesisus (ingl. *pedodiversity*) ja nende leviku muster maastikul sõltuvad mulla lähtekivimi mitmekesisusest (ingl. *geodiversity*), aga ka maastiku topograafiast ja regiooni kliimaatilistest tingimustest (Ibáñez jt, 1998; Costantini, L'Abate, 2016). Mistahes maa-ala mullastiku mitmekesisus kujuneb vastavuses selle ala geoloogilise mitmekesisusega (Serrano, Ruiz-Flano, 2007; Reintam, 2004; Ibáñez, Bockheim, 2013). Mullastiku mitmekesisuse olemust on käsitletud paljudes töödes (Ibáñez jt, 1995; Minasny, McBratney, 2010).

Mullastiku mitmekesisus mõjutab omakorda mullaelustiku mitmekesisust (ingl. *soil biodiversity*) ja taimkatte mitmekesisust. Cardinale jt (2011) ja Ibáñez jt (2012) arvates pööratakse teenimatult vähe tähelepanu bioloogilise mitmekesisuse ja mullastiku mitmekesisuse vahelistele seostele. Veelgi enam, McBratney ja Minasny (2007) järgi peaks bioloogilise mitmekesisuse käsitlus ja kaitse lähtuma geo-, pedo- ja bio- mitmekesisuste vaheliste seoste seaduspärasustest.

Töö eesmärkideks oli: (1) uurida põllumaa muldade mitmekesisust, selle kujunemise põhjusi ja seda iseloomustavaid näitajaid; (2) selgitada mullastiku mitmekesisuse olenevust pinnakatte koostisest ehk geoloogilisest mitmekesisusest; (3) näidata mullastiku mitmekesisuse mõju edasikandumist huumuskatte tüüpide, mullaelustiku ja taimestiku mitmekesisustele; (4) näidata, et põllumaade

täppismajandus peaks lähtuma mullastiku mitmekesisusest.

Käesolevaks aruteluks vajalik kvantitatiivne andmestik pärineb Eesti eri piirkondades asuval kolmel uurimisalal (Jõgeva, Kuusiku, Olustvere) meie poolt tehtud mullastiku väliuurimistel (Rannik, Kõlli, 2013; 2018; Rannik jt, 2016). Jõgeva uurimisala (384 ha) esindas Kesk-Eesti mullastikku, Kuusiku (187 ha) Põhja-Eesti ja Olustvere (63 ha) Lõuna-Eesti mullastikku.

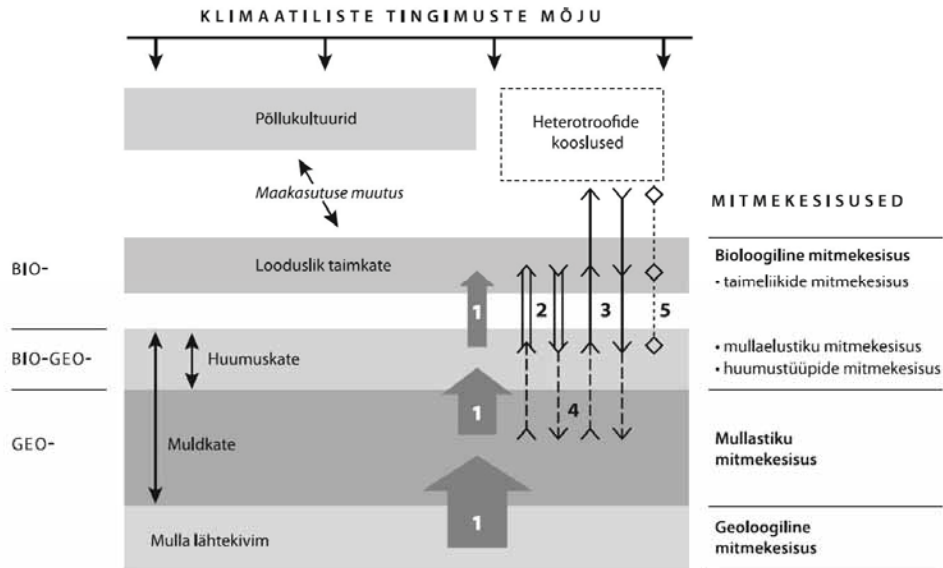
Mullastiku mitmekesisus

Mullastiku mitmekesisust näitavad muldade (1) klassifikatsiooni taksonid; (2) lõimise valemid; (3) orgaanilise süsiniku kontsentratsioon ja varud ning huumuskatte tüüp; (4) karbonaatsus; (5) agrokeemiline ja füüsikaline seisund; (6) profiili ülesehitus ja talitlemine; (7) produktiivsus (saagikus, boniteet); (8) kasutussobivus; (9) viljelemise tehnoloogia (intensiivne, tava, mahe); (10) maa-ala kallakus; (11) areaalide (kontuuride) arvukus pinnaühiku kohta ja areaali keskmine pindala; (12) mullataksoneite positsioon mullamaatriksi skalaaridel; (13) muldkatte keskkonda kaitsva võime hinnangud; (14) WRB referents, pea- ja täiend olemussõnad. Seega, on olemas väga suur hulk mullastiku mitmekesisust põhjustavaid tegureid ja näitajaid. Mulla sisemistest omadustest (ingl. *intrinsic*) põhjustatud mullastiku mitmekesisuse kõrval eksisteerivad ka mulla välised (ingl. *extrinsic*) mõjurid, millesteks on lähtekivimi, ala reljeefi, kliimatiliste tingimuste kõrval ka inimese majanduslik tegevus.

Kuigi mulla lähtekivim ei ole ökosüsteemi osa, ulatub tema (kahanev) mõju ökosüsteemi elusate koostisosade talitlemisteni (joonis 1). Kliimatilistest tingimustest sõltub ökosüsteemi talitlemiseks vajalik päikeseenergia sisend ja atmosfäärikäudne veeringe. Muldkate koosneb alusmullast (ingl. *subsoil*) ja huumuskattest (ingl. *humipedon*). Mulla huumuskate on tugevas vastastikus seoses taimkattega, olles samas nõrgalt seotud alusmullaga. Heterotroofsete organismide talitlemine on seotud taim- ja huumuskatttega, kuid seos alusmullaga on nõrk. Maakasutuse muutusega (looduslikust olekust haritavaks või vastupidi) kaasnevad muutused nii huumuskatte ülesehituses, kui ka heterotroofide kooslustes. Põllumaade muldkatete mitmekesisus ja muldade kontrastsused erinevad piirkonniti (tabel 1).

Nendest andmetest selgus, et Jõgeva ja Olustvere põllumaade mullastikud on oma homogeensusest ligikaudu sarnased. Kuigi Jõgeva muldkattes on mulla-liikide /-erimite arvukus suurem, on need homogeensemamad oma ühtlase lõimise tõttu.

Kui looduslikud ökosüsteemid arenevad taim-muld süsteemi vastastikuste sünergiliste mõjude toimetel ja vastavuses asukoha muldkatte ökoloogiliste tingimustega, siis agro-ökosüsteemides sõltub taimkatte koostis ja talitlemine maa-



Joonis 1. Ökosüsteemi koostisosad ning nende mitmekesisused ja vastastikused seosed

Mõjude suhtelised tugevused: 1 – väga tugev, 2 – tugev, 3 – mõõdukas ja 4 – nõrk mõju; 5 – heterotroofse elustiku paiknemine; NB! – täiendavad seletused on tekstis

Tabel 1. Eesti erinevate piirkondade põllumuldade mitmekesisuse ja kontrastsuse hinnangud

Näitajad	Jõgeva	Kuusiku	Olustvere
Mullaliikide üldarv	10	14	5
Mullaerimite üldarv	28	36	6
Erinevate lõimise valemite arv	10	19	4
Erimite arv mullaliigi kohta	2,8	2,6	1,2
Areaalide (kontuuride) arv 10 ha kohta	1,8	3,7	1,4
Areaali keskmine pindala (ha)	5,6	2,7	7,0
Muldade kontrastsuse valem ¹⁾	2,8/3,0/2,2	5,0/4,0/6,0	2,8/3,2/3,0
Kontrastsuste summa	8	15	9

¹⁾ Kontrastsuse valem: veeolud/genees/lõimis

valdaja poolt kasutatavast agrotehnoloogiast. Loomulikult muutub taimkate vastavaks inimese vajaduste järgi rajatud külvikorrale. Kuid drastilised muutused toimuvad ka huumuskattes seoses mullaharimise, väetamise või lupjamisega. Reguleerituks saavad huumuskatte vee-, õhu-, soojus-, toite- ja hapendustaandusrežiimid. Muldkatte liigirikkuse osas on oluline see, et seoses maakasutuse muutustega teiseneb liikide kooslus, kusjuures dominantset talitleva elustiku arvukus ei pruugi oluliselt väheneda. Muldade kultuuristamine on sisuliselt muldkatete kohandamine põllukultuuride kasvatamiseks. Osaliselt näitab seda ka muldkatete huumusseisund (tabel 2). Muldade huumusseisundi andmestik

Table 2. Uurimisalade domineerivate mullaliikide huumusseisundi näitajad

Asukoht	Muld	n	OS, g kg ⁻¹	A tusedus, cm	OS, Mg ha ⁻¹	Dm, Mg m ⁻³
Jõgeva	KI	110	13,9 ± 0,55 ^b	32,2 ± 0,59 ^c	66 ± 4,1 ^c	1,48
	Ko	70	13,9 ± 0,25 ^b	29,0 ± 0,00 ^b	58 ± 1,2 ^b	1,44
Kuusiku	Go	21	24,4 ± 0,81 ^c	38,0 ± 0,87 ^e	76 ± 4,1 ^d	0,82
	Ko	12	19,1 ± 0,28 ^c	29,0 ± 1,39 ^b	77 ± 4,6 ^d	1,39
	K	15	22,2 ± 1,05 ^d	26,5 ± 0,64 ^a	77 ± 5,2 ^d	1,31
Olustvere	LP	25	8,6 ± 0,31 ^a	36,0 ± 0,96 ^d	45 ± 2,9 ^a	1,44

Mullad: K – rähkmuld, Ko – leostunud muld, KI – leetjas muld, LP – kakkjas muld; Go – leostunud glei-muld. Näitajad: OS – orgaaniline süsinik. A – huumushorisont, Dm – lasuvustihedus. Arvud – keskmine ± – standardviga, tähed nende juures näitavad erinevust $P < 0,05$ olulisuse tasemel

selles tabelis on esitatud huumuskatte kohta, kusjuures gleimullad on kuivendatud. Selgub, et karbonaatsete lähtekivimitega piirkonnas (Kuusiku) on orgaanilise süsiniku kontsentratsioonid ja varud oluliselt suuremad, mitte ainult karbonaadi vaesematel lähtekivimitel kujunenud Olustvere piirkonna muldadest, vaid ka Kesk-Eestile iseloomulikest Jõgeva katseala muldadest.

Muldkeskne käsitlus ja mullakaitse

Muldkeskse käsitluse aluseks on muldkatete ülesehituse, omaduste ja talitlemise mitmekesisuste andmestik mullaliikide / -erimite lõikes. Looduslikele mullastikutingimustele mittevastav muldade majandamine on ebaefektiivne ja olemasoleva potentsiaali raiskamine. Muldade rolli ökosüsteemide talitlemises ei tohiks alahinnata. Muldkatte mitmekesisus determineerib floora ja fauna koosseisu ja mitmekesisuse, ökosüsteemi produktiivsuse taseme, iga-aastase värsket orgaanilist ainet sisendi mulda, mulla orgaanilise aine lagunemise intensiivsuse ning muld- ja taimkatete vahel toimuva keemiliste elementide ringe iseärasuse.

Põllumullad on kaitstud juhul, kui neid kasutatakse vastavuses mulla taimekasvatustalike omadustega ja on tagatud iga-aastane kulutatud ainete taastumine. Vältima või leevendama peaks degradatsiooni, millisteks võivad olla muldade hapestumine, erosioon, toitelementide leostumine muldkattest jms. Reguleerimiseks tuleks teha pedo-ökoloogilisi seaduspärasusi arvestavalt, mullaomadusi taastavalt või parandavalt (lupjamine, väetamine, kuivendamine, täiendava koguse orgaanilise aine lisamine), kultuurile sobiva toitelementide vahekorra kujundamine, lokaalsetele tingimustele sobiva keskkonna head seisundit tagava tehnoloogia rakendamine (minimaalne harimine, multšimine). Muldkeskse täppismaakasutuse aluseks on 1:10000 mullastiku kaardid, mullaliikide ja/või

mullaerimite omaduste tundmine ning muldade seisundi muutuste jälgimine nende seire kaudu.

Samas on kirju mullastikuga maa-ala muldkeskne täppismajandamine keerukas. Otstarbekas oleks teraviljade kasvatamisel majandada koos vaid omadustelt vähekontrastseid muldasid, kusjuures need erisused saaks katta kõrvalt subsidiirimisega (täppisviljeluse abil). Kirju mullastikuga alade parimaks kasutusviisiks on rohumaaade rajamine koos erinevate seemneseaside kasutamisega.

Kokkuvõte

Looduslikel aladel on mullastiku mitmekesisuse põhjustajateks peamiselt mulla lõimis, veeolud, mineraalne ja keemiline koostis ning karbonaatsus/happesus. Maa muutmise haritavaks, kaasnevad muutused mitte ainult taimkattes ja huumuskattes, vaid ka mulla elustikus ning seega muutub laguahelate kulg ning huumuse moodustumise ja talletumise iseloom.

Reeglina on meie eelkäijate poolt põllumaadeks välja valitud regiooni parimad, võimalikult väheste puuetega vähekontrastsed muldkatted. Vaatamata sellele, kerkib üles vajadusi/võimalusi kõlvikute muutmiseks. Tuleb arvestada, et ökoloogilise talitlemise oludele vastavaks kujunemiseks kulub vähemalt 3–5 aastat. Parimad põllumullad, mis võivad regiooniti olla erinevat tüüpi ja erineva kvaliteediga, vajavad riiklike seaduste põhiseaduse kaitset.

Mulla-elustiku mitmekesisust ja toiteahelaid tuleks uurida/käsitleda mulla-liigi / -erimi põhiseaduse, võttes samas arvesse ka mullaliikide mitmekesisuse. Maaviljeluse taset ei aita oluliselt edendada mullas talitlevate elusorganismide liiginimestike kindlakstegemine, kuna ennekõike vajatakse teavet reaalselt talitlevate dominantide laguahelate kohta.

Kasutatud kirjandus

- Cardinale, B., Matulich, K., Hooper, D.U., Byrnes, J.E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M.I., Gonzalez, A. 2011. The functional role of producer biodiversity in ecosystems. – *American Journal of Botany* 98, pp 572–592.
- Costantini, E.A.C., L'Abate, G. 2016. Beyond the concept of dominant soil: preserving pedodiversity in upscaling soil maps. – *Geoderma* 271, pp 243–253.
- Ibáñez, J.J., Bockheim, J.G. 2013. *Pedodiversity*. CRC Press, Boca Raton, 233 pp.
- Ibáñez, J.J., De-Alba, S., Lobo, A., Zucarello, V., Yaalon, D.H. 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with Discussion). – *Geoderma* 83, pp 171–192.
- Ibáñez, J.J., Saldana, A., Olivera, D. 2012. Biodiversity and pedodiversity: a matter of coincidence? – *Spanish Journal of Soil Science* 2, pp 8–12.
- Ibáñez, J.J., De-Alba, S., Bermudez, F.F., Garcia-Alvarez, A. 1995. Pedodiversity: concepts and measures. – *Catena* 24, pp 215–232.

- McBratney, A., Minasny, B. 2007. On measuring pedodiversity. – *Geoderma* 141, pp 149–154.
- Minasny, B., McBratney, A.B., Hartemink, A.E. 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. – *Geoderma* 155, pp 132–139.
- Rannik, K., Kõlli, R. 2013. Jõgeva, Kuusiku ja Olustvere katseala muldadest. – *Agraarteadus*, XXIV (1), lk 29–37.
- Rannik, K., Kõlli, R. 2018. Evaluation of the pedodiversity, agronomical quality and environment protection ability of the soil cover of Estonian croplands. – *Estonian Journal of Earth Sciences* 67 (3), pp 205–222.
- Rannik, K., Kõlli, R., Kukk, L., Fullen, M. 2016. Pedodiversity of three experimental stations in Estonia. – *Geoderma Regional* 7 (3), pp 293–299.
- Reintam, L. 2004. Muldade mitmekesisuse ökoloogia: mõisted, protsessid, suundumused. – *Eesti LUS aastaraamat* 82, lk 235–252.
- Serrano, E., Ruiz-Flano, P. 2007. Geodiversity. A theoretical and applied concept. – *Geographica Helvetica* 62, pp 140–147.

MULLA ORGAANILISE AINE LABIILSUS SÕLTUVALT VÄETAMISEST

Kristi Kõva^{1,2}, Karin Kauer¹, Alar Astover¹

¹Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

²Maaelu Teadmuskus

Abstract. Kõva, K., Kauer, K. Astover, A. 2023. Lability of soil organic matter depending on fertilization. – Agronomy 2023.

The effect of management on the soil appears faster in the labile fraction of soil organic matter (SOM). The aim of this study was to evaluate the effect of mineral nitrogen (N), N-fertilizer rate, and manure on the dynamics of soil C_{org} and in permanganate-oxidizable C (C_{akt}) content during the growing season and on the lability of SOM. In 2022, the soil samples were collected (0–10 cm) from the IOSDV long-term experiment in Tartu at five different sampling times. The soil type was Stagnic Luvisol/Retisol with sandy loam texture. The results of sorghum treatments without manure and with manure, which were fertilized with mineral N fertilizer rates of 0, 80, 160 kg ha⁻¹ (treatments without manure: N0, N80, N160 and treatments with manure: N0M, N80M, N160M) were presented. During the growing season, the soil C_{org} content remained relatively stable, while soil C_{akt} content and SOM lability changed, indicating changes in SOM composition during the growing season. The effect of mineral N fertilizer on the soil C_{org} and C_{akt} content appeared only in the unmanured variant, which was fertilized with 80 kg N ha⁻¹, indicating the optimal N rate on soil C_{org} and C_{akt} content under the given conditions. Fertilization with manure increased soil C_{org} and C_{akt} content and soil organic matter lability. Greater soil C_{akt} content and lability of organic matter in treatments with manure during the growing season indicate better plant growth conditions compared to treatments without manure. However, due to faster C turnover, the soil C_{org} content does not decrease, because the amount of C input to the soil with manure exceeds the amount of decomposed organic matter, and the C balance in the soil is positive, having a positive effect on both plants and soil.

Keywords: soil organic carbon, fertilization, manure, permanganate-oxidizable carbon

Sissejuhatus

Muld on suurim orgaanilise süsiniku (C_{org}) kogum maismaal, kus on kolm korda rohkem süsinikku (C) kui atmosfääris (Stockmann jt, 2013). Seetõttu on muld oluline süsiniku talletaja, kui ka atmosfääri lenduva CO₂ allikaks (Vilakazi jt, 2022). Mulla C_{org} sisaldus on üks enim kasutatavaid mulla viljakuse näitajaid (Shen jt, 2021). Mulla C_{org} varu kirjeldab mulda mineva orgaanilise aine koguse (C sisend) ja äralagunenud orgaanilise aine vahelist tasakaalu (Jastrow jt, 2007; Follet jt, 2001). Mulla orgaaniline aine on koostiselt väga heterogeene, sisaldades erinevaid C ühendeid ja erinevates lagunemisfaasides olevat orgaanilist ainet (Simpson jt, 2012). Suur osa mineraalmulla orgaanilisest ainest on suhteliselt stabiilne (Powlson, 1996) ning mulla kogu orgaaniline aine ja C_{org} varu ei ole tundlik põllumajanduslikule majandamisele. Muutused avalduvad kiiremini mulla orgaanilise aine kergemini lagunevas ehk labiilses fraktsioonis. Labiilne osa ja

selle muundumine on taimekasvatustes väga oluline, kuna on peamine toitainete allikas mikroobidele ja taimedele (Bongiorno jt, 2019; Chenu jt, 2019). Labiilse fraktsiooni hindamiseks kasutatakse erinevaid analüüsimeetodeid (Shen jt, 2021): näiteks mulla orgaaniline aine fraktsioneerimist suuruse järgi (Kauer jt, 2021), külma (Pärnpuu jt, 2019) ja kuumu veega ekstraheeruva C määramine (Chani jt, 2003). Laialdaselt kasutatakse kaaliumpermanganaadi (KMnO_4) lahuses oksüdeeruva C ehk 'aktiivse C' (C_{akt}) määramist (Weil jt, 2003). Varasemalt on leitud, et mulla C_{akt} fraktsioon on kõige tundlikum fraktsioon mulla harimise suhtes ja seda näitajat kasutatakse C sidumise, toitainete ringluse, mulla struktuuri kujunemise ning mulla elurikkuse näitajana (Bongiorno jt, 2019; Vilakazi jt, 2022). Lisaks on leitud positiivseid seoseid mulla C_{akt} sisalduse ja erinevate teiste näitajate vahel, näiteks mulla mikroobide biomassiga seotud C (Zhang jt, 2020) ja mikroobide aktiivsusega (Ma jt, 2018). Seetõttu on C_{akt} laialdaselt kasutatav meetod labiilse C dünaamika uurimiseks muldades (Calderon jt, 2017).

Mulla C_{org} sisaldust on võimalik kõige efektiivsemalt tõsta orgaaniliste väetistega, mille tulemusena suurenevad nii mulla C_{org} ja mulla orgaanilise aine erinevate C fraktsioonide sisaldused (Ding jt, 2012; Gong jt, 2009). Orgaanilise väetisega väetamisel viiakse lisaks C-le mulda ka taimekasvuks vajalikke toitaineid ning seetõttu on võimalik mineraalväetiste kasutamist vähendada (Bert jt, 2016).

Antud uuringu eesmärk oli hinnata mineraalse lämmastiku (N), lämmastikväetise normi ja sõnniku mõju mulla C_{org} ja C_{akt} sisalduse dünaamikale kasvu- ja heitveeperioodi jooksul ning mulla orgaanilise aine labiilsusele.

Materjal ja meetodika

Uuringu tarbeks koguti mullaproovid Eesti Maaülikooli pikaajaliselt IOSDV külvikorradest, mis on rajatud 1989. a. Katsealal on kerge liivsavi lõimisega näivleetunud muld. Külvikorras olid sorgo, suvinisu ja suviuder. Katsepõld jagunes kolmeks põlluks, ühe põllu suurus 15×150 meetrit. Antud põllud jagunevad omakorda kolmeks ribaks. Esimesel ribal kasutatakse ainult mineraalset N-väetist, teisel ribal viiakse iga kolme aasta järel enne sorgo külvi mulda tahedat veisesõnnikut (40 t ha^{-1}), kolmandal ribal kasutatakse erinevaid alternatiivseid väetisi. Katse pikiribad on jagatud omakorda 10 m laiusteks katselappideks, millele on antud erinevate normidega mineraalset N-väetist: 0, 40, 80, 120, 160 kg N ha^{-1} .

Mullaproovid koguti 2022. aastal kolmes korduses viiel korral (27. aprill, 2. juuni, 7. juuli, 2. september, 10. oktoober) 0–10 cm mullakihi sügavusest. Käesolevas artiklis esitatakse tulemusi ainult sorgo põllult nii sõnnikuga kui sõnnikuta katsevariantide kohta, mida väetati mineraalse N-väetise normidega 0, 80 ja 160 kg ha^{-1} (tekstis edaspidi sõnnikuta variandid: N0, N80, N160; sõnnikuga variandid: N0M, N80M, N160M, vastavalt). Sorgo külvati 18.05. ja koristati 27.09.2022.

Mullaproovide laboranalüüs teostati Eesti Maaülikooli mullateaduse õppe-
tooli laboris. Mulla C_{org} sisaldus määrati Dumas kuivpõletusmeetodil varioMax
CNS elementanalüsaatoriga (Elementar, Saksamaa). Mulla C_{akt} sisaldus määrati
0,02 M $KMnO_4$ lahusega (Weil jt, 2003). Mulla orgaanilise aine labiilsuse hin-
damiseks arvutati C_{akt} osakaal kogu mulla C_{org} sisaldusest ($p-C_{akt}$) kasutades valemit:

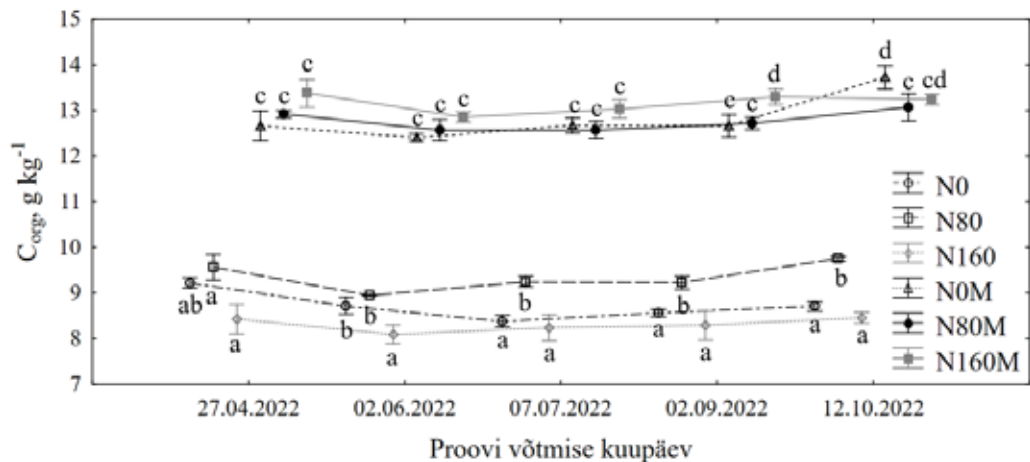
$$p-C_{akt} = 100 \times ((C_{akt} \times 1000) / C_{org}),$$

kus C_{akt} on $KMnO_4$ lahuses oksüdeerunud süsinik ($mg\ kg^{-1}$) ja C_{org} on mulla or-
gaanilise süsiniku kontsentratsioon ($g\ kg^{-1}$).

Statistiline analüüs viidi läbi statistikaprogrammiga Statistica 13.5 (TIBCO
Software Inc), kasutades ühefaktorilist dispersioonanalüüsi ja Spearmani kor-
relatsiooni. Väetusvariantide vaheliste erinevuste võrdluseks kasutati Fisher LSD
post-hoc testi. Statistilise olulisuse tõenäosuse määr on $p < 0,05$.

Tulemused ja arutelu

Mulla C_{org} sisaldus oli kõrgem sõnnikuga külvikorras (joonis 1). Esimese
proovivõtmise ajal aprillis, enne põllutööde algust, oli mulla keskmine C_{org} sisaldus
sõnnikuga variantides keskmiselt $13\ g\ kg^{-1}$ ja mineraalsest N väetisest tulenev
mõju puudus.

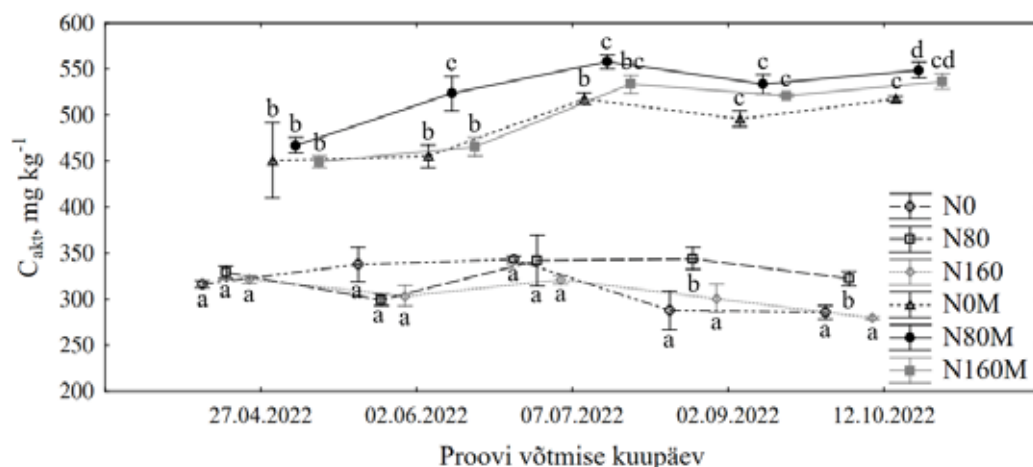


Joonis 1. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisalduse dünaamika aprillist
oktoobrini sõltuvalt väetusvariandist (N0: $0\ kg\ N\ ha^{-1}$; N80: $80\ kg\ N\ ha^{-1}$;
N160: $160\ kg\ N\ ha^{-1}$; N0M: $0\ kg\ N\ ha^{-1}$ + sõnnik; N80M: $80\ kg\ N\ ha^{-1}$ +
sõnnik; N160M: $160\ kg\ N\ ha^{-1}$ + sõnnik)

veapiirid joonisel näitavad standardviga; erinevad tähed näitavad statistiliselt usutavaid
erinevusi variantide vahel erinevatel ajahetkedel

Sõnnikuta variantides varieerus mulla C_{org} sisaldus uurimisperioodi alguses vahemikus 8,4–9,6 g kg⁻¹. Kõige väiksem C_{org} sisaldus oli variandis, mida oli väetatud normiga 160 kg N ha⁻¹. Väikseim sisaldus võib olla tingitud sellest, et mineraalsete N väetiste mulda viimine võib soodustada algse mulla orgaanilise aine lagunemist. Seetõttu mulla C_{org} sisaldus ei suurene ehkki mineraalse N-väetise lisamine suurendab saagikust ja seeläbi ka mulda mineva taimejääkidest pärinevat C sisendi kogust (Kauer jt, 2021). Sõnnikuta variantidest oli kõige suurem mulla C_{org} sisaldus variandis 80 kg N ha⁻¹, mis osutas sellele, et antud N-norm oli sobiv mulla C_{org} sisalduse suurendamiseks antud tingimustes (külvikord, kultuur, muld jms). Kasvuperioodi jooksul mulla C_{org} sisaldus püsis üldiselt stabiilsena, kuid oli märgata C_{org} sisalduse vähenemist teiseks proovivõtmise ajaks. See oli tingitud külvide eelsest kevadisest mullaharimisest, mis soodustas mulla orgaanilise aine lagunemist ja mulla C_{org} sisalduse lühiajalist vähenemist. Oktoobrikuus, kui koguti uurimisperioodi viimased mullaproovid, oli mulla C_{org} sisaldus võrreldav kevadise tasemega. Sõnnikuga variantides mineraalse N-väetise mõju puudus, kuid sõnnikuta variantides oli mulla C_{org} sisaldus jätkuvalt suurem variandis N80.

Sarnaselt mulla C_{org} sisaldusele, oli ka C_{akt} sisaldus suurem sõnnikuga variantides (joonis 2). Uurimisperioodi alguses mulla C_{akt} sisaldus mineraalse N -väetise normist ei sõltunud, kuid perioodi lõpuks oli nii sõnnikuta kui sõnni-



Joonis 2. Mulla ‘aktiivse C’ (C_{akt}) sisalduse dünaamika aprillist oktoobrini sõltuvalt väetusvariandist (N0: 0 kg N ha⁻¹; N80: 80 kg N ha⁻¹; N160: 160 kg N ha⁻¹; N0M: 0 kg N ha⁻¹ + sõnnik; N80M: 80 kg N ha⁻¹ + sõnnik; N160M: 160 kg N ha⁻¹ + sõnnik)

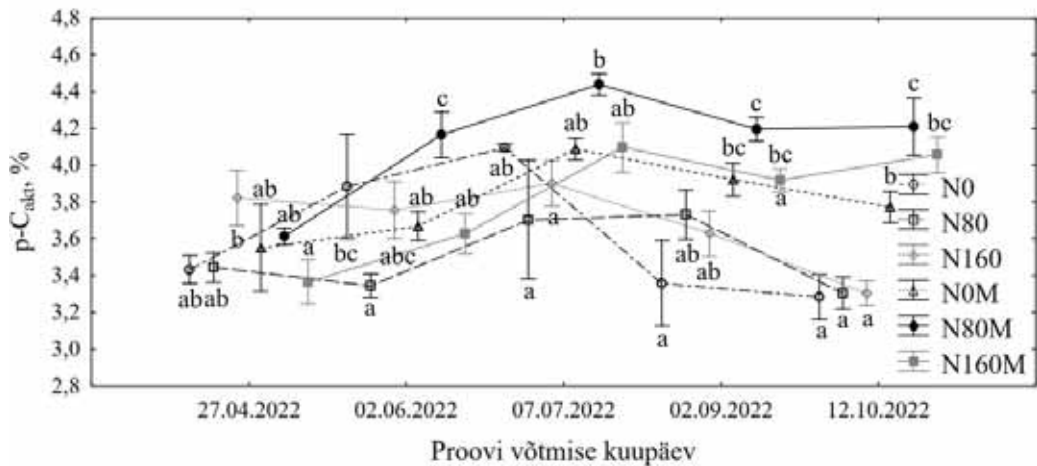
veapiirid joonisel näitavad standardviga; erinevad tähed näitavad statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel erinevatel ajahetkedel

kuga variantides C_{akt} sisaldus suurem normiga 80 kg N ha^{-1} variantides (joonis 2).

Uurimisperioodi jooksul sõnnikuta variantides C_{akt} sisaldus märkimisväärselt ei muutunud, samas sõnnikuga variantides mulla C_{akt} sisaldus suurenes uurimisperioodi esimese kolme kuu jooksul, millele järgnes C_{akt} sisalduse stabiliseerumine septembris-oktoobris. Sarnast mulla C_{akt} sisalduse muutuse dünaamikat täheldas oma maisikasvatuse uurimustöös ka Culman jt, (2013). Leiti, et mulla C_{akt} dünaamika oli positiivses seoses orgaanilise aine mineraliseerumisega ja CO_2 emissiooniga mullast, mis oli seotud suurema mikrobiaalse biomassi ja aktiivsusega mullas (Weil jt, 2003). Mulla C_{akt} fraktsiooni C ühendid on mikroobide poolt töödeldud (Culman jt, 2012; Margenot jt, 2017) ning need ühendid moodustuvad orgaanilise aine (mulla orgaaniline aine, orgaaniline väetis) lagunemise käigus mikroobide elutegevuse tagajärjel, mistõttu mulla C_{akt} fraktsioon kirjeldab mulla orgaanilise aine labiilse fraktsiooni stabiilsemat osa (Culman jt, 2012). Seega, suurem mulla C_{akt} sisaldus sõnnikuga variandis oli tingitud sõnnikust pärineva orgaanilise aine lagunemisel tekkivatest ühenditest ning orgaanilise aine lagunemine käesolevas katses oli intensiivsem alates juulikuust.

Mulla C_{akt} sisaldus oli tugevas positiivses seoses (sõnnikuta variantides: $r = 0,70$; sõnnikuga variantides $r = 0,93$, $p < 0,05$) mulla orgaanilise aine labiilsusega ($p\text{-}C_{akt}$) uurimisperioodi jooksul alguses suurenedes, seejärel vähenedes (joonis 3).

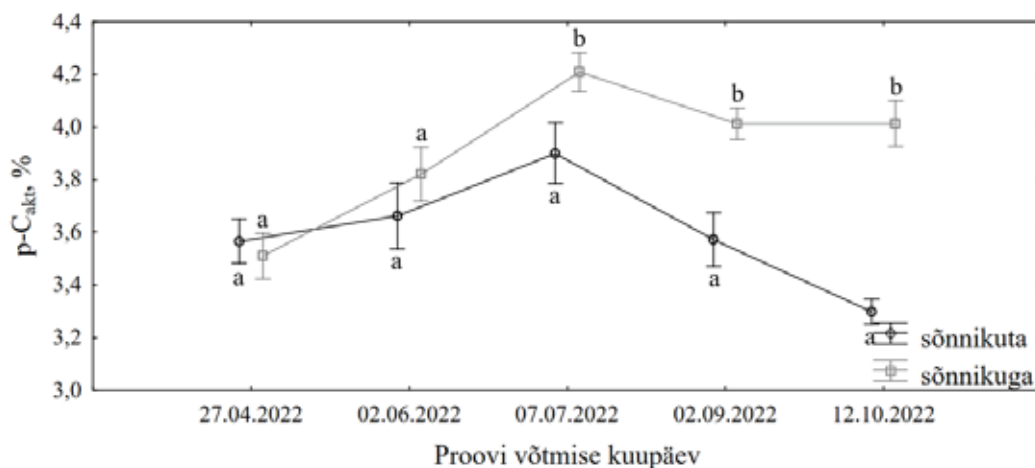
Kevadel, uurimisperioodi alguses, mulla $p\text{-}C_{akt}$ varieerus vahemikus



Joonis 3. Mulla C_{akt} osakaalu dünaamika kogu mulla C_{org} sisaldusest ($p\text{-}C_{akt}$) aprillist oktoobrini sõltuvalt väetusvariandist (N0: 0 kg N ha^{-1} ; N80: 80 kg N ha^{-1} ; N160: 160 kg N ha^{-1} ; N0M: 0 kg N ha^{-1} + sõnnik; N80M: 80 kg N ha^{-1} + sõnnik; N160M: 160 kg N ha^{-1} + sõnnik)

veapiirid joonisel näitavad standardviga; erinevad tähed näitavad statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel erinevatel ajahetkedel

3,4–3,8%. Kõige suurem oli $p-C_{akt}$ variandis N160 ja kõige väiksem variandis N160M, kuid üldiselt võib väita, et kevadel mulla orgaanilise aine labiilsus mineeraalsete ja orgaaniliste väetistega väetamisest ei sõltunud (joonis 4). Uuritud perioodi alguses mulla orgaanilise aine muutus labiilsemaks. Samal ajal suurenes



Joonis 4. Mulla C_{akt} osakaalu dünaamika kogu mulla C_{org} sisaldusest ($p-C_{akt}$) aprillist oktoobrini sõltuvalt sõnnikuga väetamisest veapiirid joonisel näitavad standardviga; erinevad tähed näitavad statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel erinevatel ajahetkedel

sõnnikuta ja sõnnikuga variantide mulla orgaanilise aine labiilsuse erinevus, kusjuures sõnnikuga variantide mulla orgaanilise aine labiilsus oli suurem võrreldes sõnnikuta variantidega. Pärast kolmandat proovivõtmist (juulikuus) labiilsus vähenes, eriti sõnnikuta variandis ning erinevused variantide vahel suurenesid veelgi. Uurimisperioodi lõpuks oli sõnnikuta variantide keskmine $p-C_{akt}$ 3,3%, sõnnikuga variantide labiilsus oli oluliselt suurem varieerudes vahemikus 3,8–4,2%. Mulla labiilne fraktsioon on peamiseks toitainete allikaks (Chenu jt, 2019), seega sõnnikuga väetatud variantides olid taimede kasvutingimused paremad võrreldes sõnnikuta variantidega. Suurem mulla orgaanilise aine labiilsus ja C_{akt} sisaldus osutavad kiiremale C ringlusele ja sealt tulenevale suuremale CO_2 emissioonile, kuid sõnnikuga mulda viidav C sisend on piisavalt suur ning ületab äralagunenud mulla orgaanilise aine koguse, mille tulemusena mulla C tasakaal oli jätkuvalt positiivne ja C_{org} sisaldus suurem võrreldes sõnnikuta variantidega. Madalam C_{akt} sisaldus ja väiksem mulla orgaanilise aine labiilsus sõnnikuta variantides osutavad taimede kehvematele kasvutingimustele ja aeglasemale C ringlusele, millega kaasneb väiksem CO_2 emissioon, kuid samas ei suurene ka mulla C_{org} sisaldus.

Kokkuvõte

Ehkki mulla C_{org} sisaldus, mille kaudu hinnata mulla viljakust ja erinevate agrotehniliste võtete mõju mulla kvaliteedile, on olnud juba varasemalt piisavalt hea näitaja, siis nagu antud uuring näitas, mulla C_{org} üldsisaldus ei kirjelda muldas toimuvaid lühiajalisi muutusi. Mulla C_{org} sisaldus püsis kasvuperioodi jooksul suhteliselt stabiilsena, samal ajal kui mulla C_{akt} sisaldus ja orgaanilise aine labiilsus muutusid, mis osutasid muutustele orgaanilise aine koostises kasvuperioodi jooksul. Mineraalse N väetise mõju mulla C_{org} ja C_{akt} sisaldusele avaldus ainult sõnnikuta variandis, mida väetati normiga 80 kg N ha^{-1} , osutades optimaalsele mineraalse N väetisenormile antud tingimustes. Sõnnikuga väetamine suurendas mulla C_{org} ja C_{akt} sisaldust ning mulla orgaanilise aine labiilsust. Suurem mulla C_{akt} sisaldus ja orgaanilise aine labiilsus sõnnikuga variantides osutas taimede parematele kasvutingimustele kasvuperioodi jooksul võrreldes sõnnikuta variantidega. Kiiremast C ringlusest tingituna mulla C_{org} sisaldus siiski ei vähene, sest sõnnikuga mulda viidava C sisendi kogus ületas äralagunenud orgaanilise aine koguse ning C tasakaal oli mullas positiivne, avaldades kokkuvõtvalt positiivset mõju nii taimedele kui mullale.

Kasutatud kirjandus

- Bert, A., Morari, F., Ferro, D.N., Simonetti, G., Polese, R. 2016. Organic input quality is more important than its quantity: C turnover coefficients in different cropping systems. – *European Journal of Agronomy* 77, pp 138–145.
- Bongiorno, G., Bünemann, K.E., Oquejiofor, U.C., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L., Goede, de R. 2019. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. – *Ecological Indicators* 99, pp 38–50.
- Calderon, F.J., Culman, S., Six, J., Franzluebbers, A.J., Schipanski, M., Beniston, J., Grandy, S., Kong, A.Y.Y. 2017. Quantification of soil permanganate oxidizable C (POXC) using infrared spectroscopy. – *Soil Science Society of America Journal* 81, pp 277–288.
- Chani, A., Dexter, M., Perrott, K.W. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. – *Soil Biology and Biochemistry* 35, pp 1231–1243.
- Chenu, C., Angers, D.A., Barre, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J. 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: knowledge gaps and potential innovations. – *Soil and Tillage Research* 188, pp 41–52.
- Culman, S.W., Snapp, S.S., Schipanski, M.E., Freeman, M.A., Beniston, L.E., Drinkwater, L.E., Franzluebbers, A.J., Glover, J.D., Grandy, A.S., Lal, R., Lee, J., Maul, J.E., Mirsky, S.B., Six, J., Spargo, J.T., Wander, M.M. 2012. Permanganate oxidizable

- carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. – Soil Science Society of America Journal 76, pp 494–505.
- Culman, S.W., Snapp, S.S., Green, J.M., Gentry, L.E. 2013. Short- and long-term labile soil carbon and nitrogen dynamics reflect management and predict corn agronomic performance. – Soil Fertility and Crop Nutrition 105, pp 493–502.
- Ding, X., Han, X., Liang, Y., Qiao, Y., Li, L., Li, N. 2012. Changes in soil organic carbon pools after 10 years of continuous manuring combined with chemical fertilizer in a Mollisol in China. – Soil and Tillage Research 122, pp 36–41.
- Follet, R.F., Samson-Liebig, S.E., Kimble, J.M., Pruessner, E.G., Waltman, S.W. 2001. Carbon sequestration under the Conservation Reserve Program in the historic grassland soils of the United States of America. – Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. R. Lal. (ed.) pp 27–40. Soil Science Society of America Special Publication 57. Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Gong, W., Yan, X., Wang, J., Hu, Ting., Gong, Y. 2009. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat-maize cropping system in North China Plain. – Plant and Soil 314, pp 67–76.
- Jastrow, D.J., Amonette, E.J., Bailey, L.V. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. – Climatic Change 80, pp 5–23.
- Kauer, K., Pärnpuu, S., Talgre, L., Eremeev, V., Luik, A. 2021. Soil particulate and mineral-associated organic matter increases in organic farming under cover cropping and manure addition. – Agriculture 11 (9), 903.
- Ma, J., Kand, F., Cheng, X., Han, H. 2018. Moderate thinning increases soil organic carbon in *Larix principis-rupprechtii* (*Pinaceae*) plantations. – Geoderma 329, pp 118–128.
- Margenot, A.J., Pulleman, M.M., Sommer, R., Paul, B.K., Parikh, S.J., Jackson, L.E., Fonte, S.J. 2017. Biochemical proxies indicate differences in soil C cycling induced by long-term tillage and residue management in a tropical agroecosystem. – Plant and Soil 420, pp 315–329.
- Powlson, D.S. 1996. Why evaluating soil organic matter model? – Evaluation of soil organic matter models. Powlson, D.S., Smith, P., Smith, J.U. (eds.) pp 3–12. Springer Verlag, Berlin.
- Pärnpuu, S., Kauer, K., Astover, A. 2019. Väetamise mõju mulla orgaanilise aine koostisele. Tupits, I., Tamm, S., Tamm, Ü., Toe, A. (Toim.). Agronoomia 2019, lk 10–15.
- Shen, X., Wang, L., Yang, Q., Xiu, W., Li, G., Zhao, J., Zhang, G. 2021. Dynamics of soil organic carbon and labile carbon fractions in soil aggregates affected by different tillage managements. – Sustainability 13(3), pp 1–11.
- Simpson, M.J., Simpson, A.J. 2012. The chemical ecology of soil organic matter molecular constituents. – Journal of Chemical Ecology 38, pp 768–784.
- Stockmann, U., Adams, A.M., Crawford, W.J., Field, J.D., Henakaarchchi, N., Jenkins, E.M., Minasny, B., McBratney, B.A., de Remy de Courcelles, V., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, K.L., Angers, D., Baldock, A.J., Bird, M., Brookes, C.P., Chenu, C., Jastrow, D.J., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A., Parton, J.W., Whitehead, D.,

- Zimmermann, M. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164, pp 80–99.
- Vilakazi, B.S., Zengeni, R., Mafongoya, P. 2022. Tillage and urea fertilizer application impacts on soil C fractions and sequestration. – *Agronomy* 12, 1725.
- Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Samson-Liebig, S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, pp 3–17.
- Zhang, L., Chen, X. Xu, Y., Jin, M., Ye, X., Gao, H., Chu, W., Mao, J., Thompson, L. M. 2020. Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation. – *Scientific reports* 10, pp 1–10.

HUMAATIDEGA RIKASTATUD MULLAPARANDAJA MÕJU MULLAELUSTIKULE JA SAAGILE

Annely Kuu¹, Mari Ivask^{1,2}, Merit Sutri¹, Marian Põldmets¹, Merrit Shanskiy¹

¹Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, ²Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledž

Abstract. Kuu, A., Ivask, M., Sutri, M., Põldmets, M., Shanskiy, M. 2023. The effect of humate-enriched soil-conditioner on soil biota and crop yield. – Agronomy 2023.

*The European Commission has adopted the "Farm to Fork" strategy, the aim of which is to ensure that the food supply chain, which includes food production, transport, distribution, marketing and consumption, has a neutral or positive environmental impact. This work analyses how bio fertilisers enriched with humates affect the abundance and diversity of soil biota, the activity of the microbial community and the crop yield. A field experiment with granular organic humate fertiliser created in 2020 was analysed for this study. The experiment included a control area, an area treated with humate fertiliser 100 ml m⁻² and an area treated with humate fertiliser 500 ml m⁻². The crops in 2020 were black mustard (*Brassica nigra*), the follow-up crop in 2021 was wheat. In 2020 and 2021, indicators of the soil microbial community were taken and earthworm samples were collected using the hand sorting method. The main harvest indicators were determined and soil chemistry indicators were taken. In 2021, springtails were extracted from a soil sample Ø5 cm, 10 cm deep. All three ecological groups of earthworms – epigeic, endogeic and anecic – were represented in this study. Canonical correspondence analysis and Spearman's rank correlation coefficient revealed the difference between the years. Soil moisture in 2020 was minimal, which affected the abundance of earthworms. Although the number of earthworms increased in different treatments in 2021, the mass of earthworms g m⁻² rather decreased. As a result of this study, the mass of the roots decreased as the amount of humate fertiliser increased, but in the area treated with humate fertiliser, both the earthworms and harvest increased and in the case of black mustard the length of the plants and the mass of 1000 grains increased too. Biomass and respiration of the soil microbial community showed a positive after-effect in the area treated with humate-enriched bio fertiliser.*

Keywords: earthworm, collembola, humate-enriched soil-conditioner

Sissejuhatus

Mineraalväetiste ja pestitsiidide kasutamine tagab põllumajandussüsteemides kõrge tootlikkuse ning nende läbimõeldud kasutamine on sageli möödapääsmatu kvaliteetse saagi saamisel (da Silva jt, 2021). Eesti Statistikaameti (2023) andmetel moodustas 2022. aastal kasutatav põllumajandusmaa 986 050 ha ja 2021. aastal 986 672 ha. Väetatud pinda põllumajanduskultuuride peale kokku oli 2021. aastal 467 383 ha ja mineraalväetisi kasutati 72 446 t. Vaatamata põllukultuuride saagikuse kasvule põhjustab sünteetiliste sisendite kasutamine keskkonnanakahju, näiteks pinna- ja põhjavee saastumist ning denitrifikatsiooni protsesside muutumist (da Silva jt, 2021). Euroopa Komisjon on vastu võtnud kaks teineteist

täiendavat strateegiat: uue elurikkuse strateegia ja strateegia „Talust taldrikule“. Viimase strateegia üks eesmärkidest on tagada, et toidutarneahelal, mis hõlmab toidu tootmist, transportimist, jaotamist, turustamist ja tarbimist, oleks neutraalne või positiivne keskkonnamõju, mis aitaks säilitada ja taastada toidusüsteemi aluseks olevaid maismaa-, magevee- ja mereressursse; aidata kaasa kliimamuutuste leevendamisele ja kohaneda nende mõjudega; kaitsta maad, mullastikku, vett, õhku, taimede ja loomade tervist ja heaolu ning pöörata tagasi elurikkuse vähenemine (Strateegia „Talust taldrikule“ õiglase, tervisliku ja keskkonnahoidliku toidusüsteemi edendamiseks, 2023).


Looduslikel materjalidel põhinevad taimede biostimulandid on pärinud viimasel ajal märkimisväärset tähelepanu (Yakhin jt, 2017). Biostimulandid on saadaval mitmesuguste koostiste ja erinevate koostisosadega, kuid üldiselt liigitatakse need sisu alusel kolme suurde rühma: humiinained, hormooni sisaldavad tooted ja aminohappeid sisaldavad tooted (du Jardin, 2015). Humiinained on mulla orgaanilise aine koostisosad ning on bioloogiliselt aktiivsed. Nende ainete hulka kuuluvad humiinhapped, fulvohapped ja humiin. Humiinained stimuleerivad juurestikku ja taimede kasvu ning leevendavad stressikahjustusi. Humiinained mõjutavad mullaomadusi ja mikroobikoosluse struktuuri (da Silva jt, 2021). Taimekasvu soodustavad humaatväetised on oluline bioloogiline alternatiiv, mis on võimeline suurendama põllukultuuride saaki (Turps, 2023).

Käesolevas uurimistöös analüüsitakse humaatidega rikastatud mullaparandaja mõju mullaselgrootute (vihmaussid, hooghännalised) arvukusele ja mitmekesisusele, mikroobikoosluse aktiivsusele (biomass ja hingamine) ning saagikusele.

Materjal ja meetodika

Käesoleva uurimuse katseala asus Eesti Maaülikooli Rõhu katsejaama Eerika põllul (58 22'N, 26 40'E). Katseala mullaliik oli näivleetunud (*Stagnic Luvisol*) WRB 2002 klassifikatsiooni järgi, mullalõimis oli kerge liivsavi. 2020. aastal viidi läbi granuleeritud orgaanilise humaatväetisega põldkatse kolmes korduses, katsevariandid olid – kontroll variant, humaatväetist 100 ml m⁻² (H100) ja humaatväetist 500 ml m⁻² (H500) (joonis 1). Granuleeritud humaatväetis oli tehtud turbast, linnusõnnikust ja puutuhast, mille keemiline koostis oli: P 0,8%; K 2,4%; Ca 3,5%; Mg 1,3%. 2020. aastal oli katsekultuuriks must sinep (*Brassica nigra*), 2021. aastal oli järelkultuuriks talinisu 'Skagen'.

Mullaproovid koguti pärast saagikoristust ning enne edasisi mullaharimistöid. Vihmaussid koguti 2020. ja 2021. aastal vermifuugi meetodil (Gunn, 1992). Igale proovilapile tehti 50 × 50 cm prooviruut, mida töödeldi 15% sinepipulbri lahusega. Kogutud vihmaussid pesti, fikseeriti alkoholis, kaaluti ning määrati liikide kau-

K	H100	H500	
K	H100	H500	
K	H100	H500	

Joonis 1. Katse skeem. K-kontrollvariant, H100 – humaatväetis 100 ml m⁻², H500 – humaatväetis 500 ml m⁻²

pa (Timm, 1999; Sims, Gerard, 1999; Krück, 2018). Vihmaussiproovid koguti igal töötlusvariandil kolmes korduses. Hooghännaliste proovid on võetud 2021. aasta sügisel. Igalt proovilapilt võeti Ø5 cm mullapuuriga 10 cm sügavuselt kaks mullaproovi, kokku ühe töötluse peale kuus proovi. Proovide ekstraheerimisel kasutati Tullgreni lehtrit (Coleman jt, 2004), milles hooghännalised liiguvad valgustuse ja soojuse mõjul läbi mullakihi allapoole ning kogutakse etanooliga täidetud proovipudelis. Mullaproove hoiti valgustuse all 48 h. Mikroobikoosluse hingamisaktiivsuse määramiseks kasutati 2020. ja 2021. aastal WTW OxiTop® manomeetrilist mõõtmisüsteemi ning mikroobide biomass määrati substraadi poolt indutseeritud hingamise alusel (Platen, Wirtz, 1999; Reuschenbach jt, 2003). Üldlämmastik määrati Kjeldahli meetodil (Procedures for soil analysis, 2002) ning liikuvad fosfor, kaalium, kaltsium ja magneesium Mehlich-3 meetodil (Mehlich-3 extraction protocol, 2016). Orgaaniline süsinik määrati kuivpõletusmeetodil elementanalüsaatoril varioMAX CNS (Dumas meetod) ning lõimis pipettmeetodil (ISO 11277, 1998). Mulla pH määrati 1M KCl lahusest (1:2,5) pH-meetriga.

Mõlemal aastal analüüsiti kasvatatava kultuuri peamiseid näitajaid: vihu-mass, juurte mass, taimede pikkus, 1000 tera mass ja saagikus.

Andmete töötlemisel arvutati rühmade keskmised väärtused ning keskmiste aritmeetilised vead (\pm SE). Lisaks töödeldi andmeid programmide Excel, CANOCO 4.52 ja STATISTICA 8.0 abil, kasutades mitteparameetrilisi (Spearmani korrelatsioonanalüüs) meetodeid. Shannon-Wieneri mitmekesisuse indeksi (H') (Spellerberg, 1991; Krebs, 1999) arvutamiseks kasutati PC-ORD programmi. Kanoonilise vastavusanalüüsi (CCA) arvutamiseks kasutati CANOCO 4.52 programmi, mille abil analüüsiti vihmaussikoosluse ja keskkonna parameetreid (Monte Carlo test, 999 permutatsioon) (ter Braak, 1994).

Tulemused

Mulla keemilise analüüsi tulemused on esitatud tabelis 1. Kui võrrelda 2020. ja 2021. aasta näitajaid, siis mulla niiskusesisaldus (%) ja fosforisisaldus (mg 100 g) oli madalam 2020. aastal, samas mulla kaltsiumisisaldus (mg 100 g) oli kõrgem 2020. aastal.

Tabel 1. Mulla keemilised näitajad 2020. ja 2021. aastal

Töötlus	Niiskus	N	C	P	K	Ca	Mg	pH
		%		mg 100 g				
2020								
Kontroll	10,32	0,16	1,74	13,4	10,5	238,8	25,5	6,89
H100	10,45	0,16	1,70	14,3	10,6	229,4	28,6	6,84
H500	9,53	0,17	1,78	14,1	12,4	223,7	20,1	6,85
2021								
Kontroll	15,07	0,16	1,82	15,9	12,7	211,0	18,6	6,66
H100	15,16	0,16	1,73	16,8	12,2	195,0	16,7	6,84
H500	16,28	0,17	1,80	15,2	13,5	167,0	15,7	6,85

Töötlus: H100 – humaatväetis 100 ml m⁻², H500 – humaatväetis 500 ml m⁻²

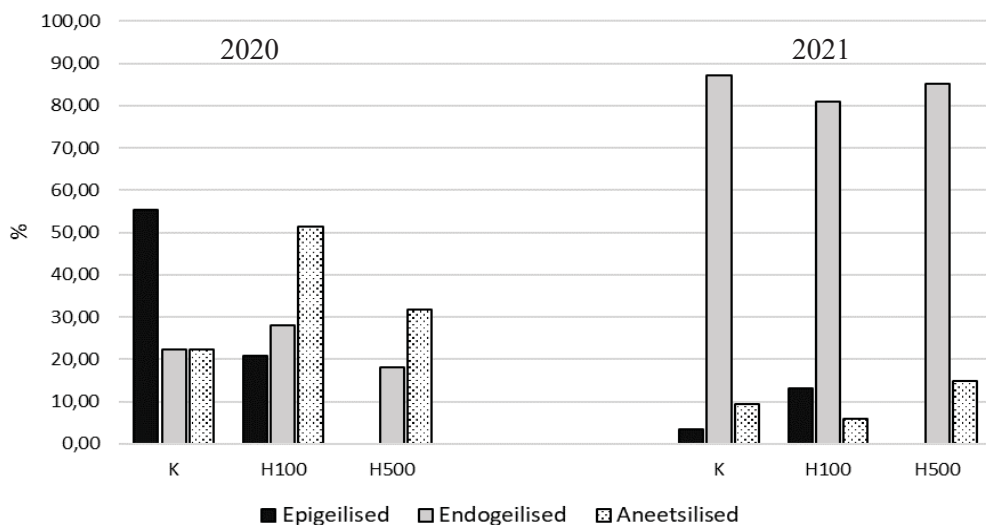
Vihmausside arvukus, liikide arv, bioloogilise mitmekesisuse (Shannon-Wiener'i indeks) ja mikroobikoosluse näitajad on esitatud tabelis 2. Bioloogilise mitmekesisuse indeks oli kõrgem 2020. aastal humaatväetisega (100 ml m⁻²) töödeldud alal ning kontrollvariandis, väikseim mitmekesisuse indeks esines samuti 2020. aastal humaatväetisega (500 ml m⁻²) töödeldud alal (0,655). Mikroobikoosluse näitajad (biomass ja hingamisaktiivsus) olid suuremad 2021. aastal.

Tabel 2. Vihmaussikoosluse näitajad. SIR – mikroobne biomass (mg biomass C g×KA⁻¹), BA – mulla mikroobikoosluse hingamisaktiivsus (mg O₂ kg⁻¹ kuiva mulla kohta tunnis)

*Töötlus	Arvukus	Liikide arv	Shannon-Wiener'i indeks	Mass, g m ⁻²	SIR, C g×KA ⁻¹	BA, mg O ₂ kg ⁻¹
2020						
K	46,0±2,0	4	1,095	21,7±6,4	0,169±0,004	1,092±0,156
H100	50,0±6,0	5	1,274	22,2±3,8	0,208±0,028	1,560±0,120
H500	22,0±22,0	2	0,655	16,5±16,5	0,163±0,001	2,004±0,001
2021						
K	56,0±12,2	4	0,753	12,3±1,2	0,227±0,011	1,592±0,078
H100	64,0±22,0	4	0,980	16,1±5,1	0,219±0,006	1,534±0,045
H500	97,3±23,7	3	0,861	28,5±4,1	0,225±0,005	1,576±0,037

*K – kontrollvariant, H100 – humaatväetis 100 ml m⁻², H500 – humaatväetis 500 ml m⁻²

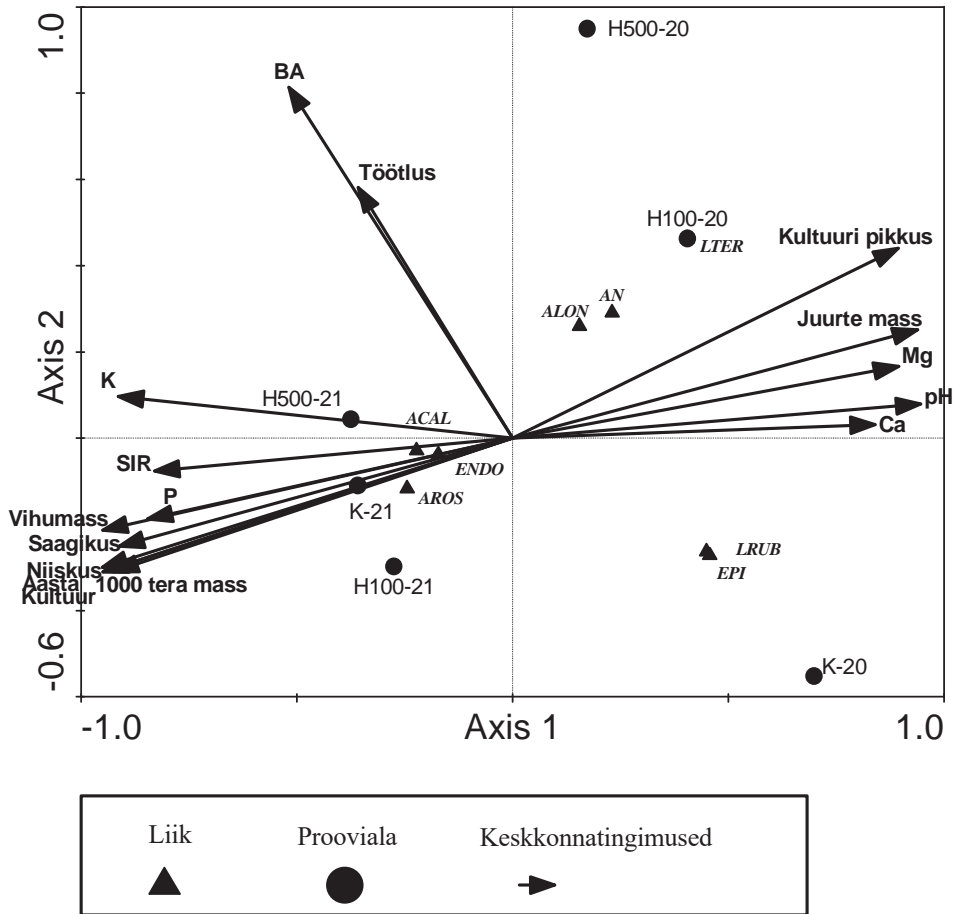
Joonisel 2 on esitatud vihmausside ökoloogiliste eluvormide jaotus (%). 2020. aastal oli kontrollvariandis arvukam epigeiline punane vihmauss (*Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843)) ja humaatväetisega (100 ml m⁻²) töödeldud alal esines arvukamalt aneetsilisi vihmausse. 2021. aastal oli katses enam esindatud endogeilised vihmaussid e harilik mullauss (*Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826)) ja roosa mullauss (*Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826)).



Joonis 2. Vihmausside ökoloogiline jaotumus. K – kontrollvariant, H100 – humaatväetis 100 ml m⁻², H500 – humaatväetis 500 ml m⁻²

Joonisel 3 on esitatud vihmaussiliikide ja koosluse parameetrite kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (Canonical Correspondence Analysis (CCA)) keskkonnateguritega. Vihmausside arvukus oli positiivses seoses ($p < 0,05$) mulla mikroobikoosluse biomassiga (SIR) ($R = 0,8286$), katseaastaga ($R = 0,8783$), kultuuri vihumassiga, saagikusega (vastavalt $R = 0,8286$) ja kultuuriga ($R = 0,8783$). Kahe aasta keskmine vihmausside arvukus oli kontrollvariandis $52,0 \pm 7,2$; humaatväetisega (100 ml m⁻²) töödeldud alal oli arvukus $58,4 \pm 12,7$ ja humaatväetisega (500 ml m⁻²) töödeldud alal $67,2 \pm 23,6$ isendit m⁻². Vihmausside arvukus oli negatiivses seoses mulla kaltsiumisisaldusega ($R = -0,8285$), mulla happesusega ($R = -0,8857$), juurte massiga ($R = -0,9429$) ja kultuuri kõrgusega ($R = -0,8857$). Epigeiliste vihmausside osa koosluses oli negatiivses ($p < 0,05$) korrelatsioonis mulla mikroobikoosluse üldise hingamisaktiivsusega (BA) ($R = -0,8407$) ning endogeiliste usside osa oli negatiivses korrelatsioonis mulla kuivainesisaldusega ($R = -0,8285$) ja positiivses seoses mulla niiskusesisaldusega ($R = 0,8286$). Kanoonilisel vastavusanalüüsil ei ilmnenud statistiliselt usaldusväärseid seoseid töötamise ja vihmaussikoosluse arvukuse ning liigilise mitmekesisuse vahel.

Mulla mikroobikoosluse biomass oli positiivses seoses katseaastaga ($R = 0,8783$), olles suurem 2021. aastal, kui katses oli järelkultuuriks talinisu. Mikroobikoosluse biomass oli negatiivses seoses mulla happesusega ($R = -0,8857$), mulla happesuse suurenedes suurenes ka mikroobikoosluse biomass.



Joonis 3. Vihmaussikoosluste näitajate kanooniline vastavusanalüüs (CCA)

K – kontrollvariant; H100 – humaatväetis (100 ml m^{-2}); H500 – humaatväetis (500 ml m^{-2}).

I ja II telg kaetud vastavalt 64,1% ja 30,9%, varieeruvusest, kanooniline koguväärtus 0,428. Tähisted joonisel: ACAL – harilik mullauss, AROS – roosa mullauss, ALON – suur mullauss, LRUB – punane vihmauss, LTER – harilik vihmauss, EPI – epigeilise eluvormi osa koosluse arvukuses, ENDO – endogeilise eluvormi osa koosluse arvukuses, AN – aneetsilise eluvormi osa koosluse arvukuses, N – vihmausside arvukus (m^2), pH – mullahappesus (pH_{KCl}), P – mulla fosforisisaldus (mg kg^{-1}), K – mulla kaaliumisisaldus (mg kg^{-1}); Ca – mulla kaltsiumisisaldus (mg kg^{-1}), Mg – mulla magneesiumisisaldus (mg kg^{-1}), SIR – mikroobne biomass ($\text{mg biomass C g} \times \text{KA}^{-1}$), BA – mulla mikroobikoosluse hingamisaktiivsus ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1}$ kuiva mulla kohta tunnis)

Hooghännaliste keskmine arvukus oli suurim proovialal H100 (43,8±11,0), liikide arv oli suurim kontrollvariandis (15 liiki) (tabel 3). Shannon-Wieneri bioloogilise mitmekesisuse indeksi keskmine väärtus oli sarnane kontrollvariandile (2,175) ja humaatväetisega (500 ml m⁻²) töödeldud alale (2,169). Humaatväetisega (100 ml m⁻²) töödeldud alal oli mitmekesisuse indeks 2,073. Statistiliselt usaldusväärseid seoseid ei ilmnenud hooghännaliste koosluste ja mulla näitajate ning katsealal kasvatatava kultuuri näitajate vahel.

Tabel 3. Hooghännaliste keskmine arvukus (±SE) ja liikide arv

*Töötlus	Arvukus	Liikide arv
K	27,8±6,1	15
H100	43,8±11,0	9
H500	34,8±9,2	7

*K – kontrollvariant, H100 – humaatväetis 100 ml m⁻², H500 – humaatväetis 500 ml m⁻²

Tabelis 4 on esitatud 2020. aasta musta sinepi (*Brassica nigra*) ja 2021. aasta järeלקultuuri talinisu peamised näitajad. Mõlema kultuuri puhul suurenes humaatväetise kogust suurendades vihumass (g 0,125 m²) ja saagikus (t ha⁻¹), kuid juurte mass pigem vähenes (tabel 3).

Tabel 4. Taimse produktsiooni keskmised (±SE) näitajad

*Töötlus	Aasta	Vihumass g 0,125 m ²	Juurte mass g	Taime pikkus cm	1000 tera mass g	Saagikus t ha ⁻¹
Must sinep						
K	2020	92,0±9,9	16,0±1,5	125,7±1,2	1,9±0,0	0,5±0,0
H100	2020	107,0±6,1	15,0±1,2	135,7±1,2	2,0±0,0	0,6±0,0
H500	2020	121,7±2,7	15,2±0,9	141,0±2,1	2,1±0,0	0,7±0,0
Talinisu						
K	2021	233,3±14,8	6,8±4,0	78,5±2,5	41,0±0,1	2,6±0,0
H100	2021	273,3±14,2	3,9±2,5	74,4±2,4	40,6±0,1	3,7±0,0
H500	2021	285,0±17,3	3,4±0,5	76,6±2,0	42,5±0,1	4,0±0,0

*K – kontrollvariant, H100 – humaatväetis 100 ml m⁻², H500 – humaatväetis 500 ml m⁻²

Arutelu

Mullaviljakus sõltub mulla füüsikalistest, keemilistest ja bioloogilistest omadustest, tema talitlemine määrab ära mulla tootlikkuse. Mullaviljakus võib olla looduslik, mis määratakse ära looduslike mullaomaduste poolt ja seda ei ole inimene mõjutanud. Tänapäeval, kasvava rahvastikuga ja toidutarbimise suurenemisel, peame pigem rääkima mulla kunstlikust viljakusest ehk mullaviljakusest, mida inimene on kujundanud. Kuna väetised on kallinenud ning Eesti ja Euroopa

Liit on seadnud sihiks saavutada kliimanetraalne ja keskkonnasõbralik majandus aastaks 2050 (Vabariigi Valitsus, 2023), siis on hakatud rohkem tähelepanu pöörama looduslikel materjalidel põhinevatele biostimulantidele.

Muld on elupaigaks tohutule mikroorganismide, loomade ja taimejuurte mitmekesisusele. Viljakas mullas muudavad mullaorganismid toitained ja orgaanilise aine efektiivselt taimesaagiks, loovad orgaanilist ainet, kaitsevad taimi haiguste eest ning muudavad mulla kobedaks (Mullaviljakuse põhitõed, 2023). Eesti muldadest on leitud 13 erinevat liiki vihmausse, kelle elupaigaks on mulla erinevad horisondid, alates huumushorisondist kuni paari meetri sügavuse lähtekivimini. Käesolevas uurimuses oli esindatud kõik kolm vihmaussiliikide ökoloogilist rühma: epigeilised, endogeilised ja aneetsilised. Kõige olulisem tegur, mis kontrollib vihmausside populatsiooni, on vihmausside toiduks saadaoleva orgaanilise aine hulk aga ka mullaniiskus (Singh jt, 2019). Kanooniline vastavusanalüüs ja Spearmani korrelatsioon tõid välja aastate erinevuse. 2020. aasta mullaniiskus oli minimaalne, millest tulenevalt oli mõjutatud vihmausside arvukus, seda eriti proovialal H500 ($22,0 \pm 22,0$ isendit m^{-2}), kus mulla niiskusesisaldus oli 9,53%. Vihmausside mullaniiskuse tundlikkus ja mõju sõltuvad lisaks temperatuurimuutustele ka muudest keskkonnatingimustest, näiteks mulla hüdroloogilistest tingimustest, taimestikust jne. Kuivusel on muldkeskkonnale nii otsene kui ka kaudne mõju. Veesisaldus mulla ülemistes kihtides väheneb kiiresti, kuid sügavamaid mullakihte ei pruugi see kohe mõjutada. Samas mulla väiksem veesisaldus suurendab mulla kõvadust, mis pärsib mullafauna liikumist. Kuumus ja mullaniiskuse vähenemine põhjustavad täiskasvanud ja juveniilsete vihmausside aeglasema kasvu või lausa kaalu vähenemise, väheneb kaevamisaktiivsus ning kookonite produktsioon (Singh jt, 2019). Tabelis 2 on näha, et võrreldes 2020. aastaga suurenes 2021. aastal vihmausside arvukus erinevate töötlustega mullas, samas vihmausside mass ($g m^{-2}$) pigem vähenes, mis tõenäoliselt oli tingitud 2020. aasta kuuma ja kuiva suve järelmõjust. Uuringud on näidanud, et erinevad vihmaussiliigid reageerivad erinevalt mulla niiskuse ja mulla temperatuuri muutustele. Kirjanduse põhjal näiteks rohelise vihmaussi (*Allolobophora chlorotica*) ja kaheksakant-kõduussi (*Dendrobaena octaedra*) arvukus ja biomass reageerisid madalamal mullaniiskuse tasemel temperatuuri tõusule positiivsemalt, samas kui hariliku mullaussi (*Aporrectodea caliginosa*) ja punase vihmaussi (*Lumbricus rubellus*) arvukus ja biomass ei andnud mingeid seoseid temperatuuri tõusu ja mullaniiskuse langusega. Mullapinnal ja taimses varises elavaid epigeilisi liike mõjutab tugevalt suvine põuaperiood, kuna neil liikidel on piiratud võime liikuda mulla sügavamatesse kihtidesse. Epigeiliste vihmausside kookonid on põuatingimustele vastupidavad. See on nende liikide peamine strateegia põuaperioodi üleelamiseks ja tänu sellele taastuvad kooslused pärast põua

lõppu kiiresti (Singh jt, 2019). 2020. aasta epigeilise punase vihmaussi suurem (*Lumbricus rubellus*) arvukus võib olla seotud just kookonite produktsiooniga (joonis 2).

Hooghännaliste arvukus oli suurim humaatväetisega (100 ml m⁻²) töödeldud alal (43,8±11,0), liikide arv oli suurim kontrollalal (15 liiki) (tabel 3). Hooghännalised mõjutavad positiivselt taimede saagikust ja mikroobide biomassi, seda eriti piiratud toitainetega ökosüsteemides (Dervash jt, 2018). Käesolevas uurimuses hooghännaliste arvukus ja liikide arv ei andnud statistiliselt usaldusväärseid seoseid. Vaadates mullakeemia tulemusi (tabel 1), lähtudes Loide jt, 2005 „Väetistarbe hindamisest Mehlich 3 väljatõmbest“ selgub, et mulla magneesiumi- ja fosforisisaldus oli töötlustel väga kõrge ning mulla kaaliumisisaldus oli keskmine. Toitainete väga kõrge sisaldus võis mõjutada seda, et hooghännaliste arvukus ja liikide arv ei avaldanud statistiliselt usaldusväärset mõju saagile, vihmaussidele ja mikroobidele.

Humaatväetiste toimel mulda sattuvad humiinained toimivad juurestikule, stimuleerides külguurte ja juurekarvade arvukust ja pikkust (du Jardin, 2015; da Silva jt, 2021). Käesoleva töö tulemustest (tabel 4), selgus et juurte mass (sõltumata kultuurist) oli suurem kontrollvariandis ja vähenes humiinväetise koguse suurenedes. Humiinained on mulla mineraalosa tugevasti liitunud huumusained, mis on tekkinud peamiselt taimejäänuste lagunemisel mikroorganismide koostoimel. Humiinainete kasutamine taimede kasvu ja juurte massi soodustamiseks nõuab seetõttu kompleksset lähenemist koos kasvutingimuste optimeerimisega (du Jardin, 2015). Humaatidega rikastatud mullaparandaja lõi juurtele sobiliku kasvukeskkonna, mistõttu peatus juurte kasv, sest toitelemente oli huumushorisondis piisavalt. Selleks et selgitada välja, milline näitaja pärssis juurtemassi kasvu ja arengut, on vaja edasisi uuringuid. Varasemalt on teada, et huumusainete – lahustuvate humiini- ja fulvohapete fraktsioonide – kasutamine annab taimede kasvule ebajärjekindlaid, kuid positiivseid tulemusi (du Jardin, 2015). Humaatväetistega töödeldud alal suurenesid vihumass ja saagikus ning musta sinepi (*Brassica nigra*) taimede pikkus ja 1000 tera mass (tabel 4).

Kokkuvõte

Tänapäeval, kus kasvab elanikkond ja suureneb toidu tarbimine ning samaaegselt on vaja täita Eesti ja Euroopa Liidu rohepöörde strateegia eesmärged tagamaks 2050. aastaks kliimaneutraalne ja keskkonnasõbralik majandus, on hakatud rohkem tähelepanu pöörama looduslikel materjalidel põhinevatele biostimulantidele. Käesolevas uurimuses vaadeldi kahe aasta jooksul humaatidega rikastatud mullaparandaja mõju mullaelustikule, musta sinepi (*Brassica nigra*) ja talinisu saagile. Humaatväetisega (variandid 100 ja 500 ml m⁻²) töödeldud alal

suurenes taime saak, vihumass ja osaliselt taime pikkus ning 1000 seemne mass. Humaatväetiste mõju mullaelustikule nõuab edasisi uuringuid. Humaatväetised suurendasid vihmausside ja hooghännaliste arvukust, kuid samal ajal vähenes bioloogiline mitmekesisus. Humaatidega töödeldud alal võis märgata positiivset järeelmõju mulla mikroobikoosluse biomassile ja hingamisaktiivsusele.

Tänuavaldused

Autorid tänavad Jane Raametsa ja Laura Lokko't TalTech Tartu kolledžist mulla mikroobikoosluse näitajate analüüside tegemise eest.

Kasutatud kirjandus

- Coleman, D.C., Crossley, D.A. Jr., Hendrix, P.F. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. 2nd Edition. Elsevier Academic Press. 386 pp.
- da Silva, M.S.R.D.A., dos Santos, B.D.M.S., da Silva, C.S.R.D.A., Antunes, L.F.D.S., dos Santos, R.M., Santos, C.H.B., Rigobelo, E.C. 2021. Humic Substances in Combination with Plant Growth-Promoting Bacteria as an Alternative for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Microbiology*, Volume 12. Article 719653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653>, pp 1–14.
- Dervash, M.A., Bhat, R.A., Mushtaq, N., Singh, D.V. 2018. Dynamics and Importance of Soil Mesofauna. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering* 07(04), pp 2–11.
- Eesti Statistikaamet. 2023. <https://www.stat.ee/> (02.01.2023)
- Gunn, A. 1992. The use of mustard to estimate earthworm population. *Pedobiologia* 36, pp 65–67.
- ISO 11277. 1998. Soil quality – determination of particle size distribution in mineral soil material – method by sieving and sedimentation.
- Jardin, d.P. 2015. Plant biostimulators: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. Volume 196, 2015, pp 3–14
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd Edition, Addison-Welsey Educational Publisher, Inc., pp 410–495.
- Krück S. 2018. *Bildatlas zur Regenwurmbestimmung, mit einem Kompendium der Regenwurmfauna des Norddeutschen Tieflands*. Natur+Text, Rangsdorf, 196 lk.
- Loide, V., Nõges, M., Rebane, J. 2005. Assessment of the agrochemical properties of the soil using the extraction solution Mehlich 3 in Estonia. – *Agronomy Research* 3, pp 73–80.
- Mehlich 3 extraction protocol. 2016. University of Maryland: Agroecology Lab. <http://www.agroecologylab.com/uploads/2/7/2/8/27281831/mehlich3extraction.pdf>.
- Mullaviljakuse põhitõed. 2023. http://www.maheklubi.ee/upload/Editor/Mullaviljakuse_pohitoid_fibl_orc.pdf (06.01.2023)
- Platen, H., Wirtz, A. 1999. Application of analysis no 1: Measurement of the respiration activity of soils using the OxiTop® Control measuring system. Basic principles and

- process characteristic quantities. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH & Co. Germany.
- Procedures for soil analysis. 2002. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. http://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf (02.01.2023).
- Reuschenbach, P., Pagga, U, Strotmann, U. 2003. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. – *Water Research* 37. pp 1571–1582.
- Sims R.W., Gerard B.M. 1999. Earthworms. Synopses of the British Fauna (New Series). (eds.) By R.S.K.Barnes, J.H.Crothers. No 31, 170 pp.
- Singh, J, Schädler, M, Demetrio, W, Brown, G.G, Eisenhauer, N. 2019. Climate change effects on earthworms – a review. *Soil Org.* 2019 Dec 1;91(3):114–38. <http://10.25674/so91iss3pp114>. PMID: 31908681; PMCID: PMC6944501
- Spellerberg, I.F. 1991. Monitoring ecological change. Cambridge University Press, Great Britain, 334 pp.
- Strategia „Talustaldrikule“ õiglase, tervisliku ja keskkonnahoidliku toidusüsteemi edendamiseks. 2023. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0014.02/DOC_1&format=PDF (02.01.2023)
- ter Braak, C.J.F. 1994. Canonical community ordination. Part 1: Basic theory and linear methods, *Ecoscience*, 1, pp 127–140.
- Timm, T. 1999. Eesti rõngusside (*Annelida*) määraja. A Guide to the Estonian Annelida. Looduseuurija käsiraamatud 1. – Eesti Loodusuurijate Seltsi väljaanne. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tartu-Tallinn, 208 lk.
- Turps. 2023. Mis on humaatväetis. <https://turps.ee/humaatvaetis/> (02.01.2023).
- Vabariigi Valitsus. 2023. <https://www.valitsus.ee/valitsuse-eesmargid-ja-tegevused/roheliitika> (06.01.2023)
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., Brown, P.H. 2017. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*, Volume 7. Article 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049> pp 1–32.

HAPESTATUD VEISE VEDELSÖNNIKU MÕJU SUVIODRA SAAGILE, MULLA KEEMILISTELE JA MIKROBIOLOOGILISTELE NÄITAJATELE OÜ VOORE FARM TOOTMISPÕLLUL

Liina Edesi, Elina Karron, Tiina Talve, Raivo Vettik, Taavi Võsa, Kalvi Tamm

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Edesi, L., Karron, E., Talve, T., Vettik, R., Võsa, T., Tamm, K.. The effect of acidified cattle slurry application on the yield of spring barley, chemical and microbiological property of the soil in the field of Voore Farm OÜ. – Agronomy 2023.

Acidification of animal slurry is recommended to reduce NH_3 volatilization thus also reduces a loss of a valuable plant nutrient. Another advantage if using sulfuric acid (H_2SO_4) for acidification is fertiliser value of S. Here we test the impact of acidified cattle slurry, untreated slurry on soil pH, C_{org} %, P, K, Mg, Ca and SO_4 -S, NO_3 -N, NH_4 -N, dehydrogenase activity (DHA) and microbial community composition (PLFA), content in the 0–20 cm layer in spring barley in OÜ Voore Farm field in 2019. The slurry was acidified before spreading with H_2SO_4 (96%) to reach the target pH of 6.5. The soil was sampled twice: 2 weeks after slurry spreading and at after spring barley harvest. In spring barley, the chlorophyll content (SPAD) of plant leaves was measured three times during the growing period, and the yield and yield protein content were evaluated. The results of the acidification of liquid cattle manure showed a tendency to reduce nitrogen losses. This tendency was also shown by the SPAD measurement results, as well as the yield and protein content data. Unfortunately, since the vegetation period of the year was rather poor in precipitation, the uptake of nutrients by the plants was slightly inhibited, and the differences were not very clear. Application of acidified liquid cattle manure decreased soil pH and increased soil sulfur content. However, the decrease in soil pH was not permanent and had increased by the time of harvest. Based on the test results, it did not appear that the use of acidified manure caused any negative effect on the soil microbial community.

Keyword: acified cattle slurry, soil chemical and microbial community composition, spring barley

Sissejuhatus

Loomakasvatusest pärit sõnnik sisaldab olulisel määral taimedele vajalikke toitaineid olles seega heaks alternatiiviks mineraalväetistele. Samas võib aga sõnniku käitlemisega kaasneda suur negatiivne mõju keskkonnale ja õhukvaliteedile, seda just peamiselt ammoniaagi (NH_3) lendumise tõttu (Carozzi jt, 2013). Sellega kaasneb ka taimedele väärtusliku lämmastiku kadu. Sõnniku laotamise etapis on kadude vähendamine väga oluline, kuna märgatav hulk eelnevates etappides säästetud NH_3 võib laotamise käigus kaotsi minna. NH_3 kadude vähendamaks on Taanis juba kümnekond aastat kasutatud sõnniku hapestamise tehnoloogiat (Ten Hoeven jt, 2016). NH_3 kontsentratsioon sõnnikus sõltub NH_3 ja NH_4 vahelisest keemilisest tasakaalust. NH_4 kui sool on vedelsõnnikus märksa stabiilsem kui gaasiline NH_3 . Nende omavaheline keemiline tasakaal sõltub vedelsõnniku pH-st. NH_3

osakaal ja lendumine on suurim, kui vedelsõnniku pH on 7–10, samas pH 5,5 korral mõõdetav vaba ammoniaak peaaegu puudub (Tamm jt, 2019). Vedelsõnniku pH alandamine 6-ni või sellest madalamale, on harilikult piisav, et vähendada NH_3 heidet 50% või rohkem. Üheks levinumaks sõnniku hapestamise lisandiks on väävelhape (Eriksen jt, 2008). Lisaks odavale hinnale sisaldab see väävlit, mis on taimedele üheks põhitoiteelemendiks ning mille puudusel taimede lämmastiku omastamise efektiivsus väheneb (Eriksen jt, 2008; Järvan, 2008; Kanger jt, 2014).

Hapestamiseks vajaminev väävelhappe kogus sõltub olulisel määral sõnniku algsest pH-st, orgaanilise aine sisaldusest ning soovitud pH tasemest. Eelnevates Eesti Taimikasvatuse Instituudi poolt läbiviidud põldkatsetes on kulunud sea vedelsõnniku hapestamiseks tasemele pH 6,0 väävelhapet (96%) koguses $6,3 \text{ l m}^{-3}$ ja veise vedelsõnniku pH tasemele 5,0 mahus $5,14 \text{ l m}^{-3}$ (Edesi jt, 2020; Pääsuke, 2022).

Käesoleva töö eesmärk oli selgitada veise vedelsõnniku hapestamise mõju mulla keemilistele näitajatele, mulla mikroobikooslusele ja suviodra saagikusele.

Materjal ja meetodika

Katse rajati suviodra sordiga ‘Planet’ 120 m^2 ($6 \times 20 \text{ m}$) suurustele lappidele OÜ Voore Farm põllule 17. aprillil 2019. aastal. Katses oli kolme katsevarianti: 1. hapestamata veise vedelsõnnikuga (VS), 2. hapestatud veise vedelsõnnikuga (HVS) ja 3. kontroll (tabel 1).

Tabel 1. Katsevariandid ja vedelsõnniku laotamisnorm (28.05.2019)

Katsevariandi nr.	Tehnoloogiline variant	Laotamisnorm, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
1	VS – avalõhekettaga	25
2	HVS – avalõhekettaga	25
3	Kontroll (ilma vedelsõnnikuta)	0

VS – veisevedelsõnnik, HVS – hapestatud veisevedelsõnnik

Veise vedelsõnnik hapestati vahetult enne laotamist puhvermahutis. IBC konteiner tõsteti tõstukiga puhvermahuti kohale ja seejärel avati konteineri kraan, et kontsentreeritud (94%) väävelhape voolaks vedelsõnnikusse. Samal ajal toimus pidev vedelsõnniku segamine puhvermahuti küljes oleva pumbaga. Vahu tase tõusis 0,5 m ühe tunni vältel, misjärel see osaliselt jälle langes. Ühe kuupmeetri vedelsõnniku hapestamiseks kasutati 1,43 liitrit väävelhapet. Hapestamise tulemusel langes vedelsõnniku pH 7,5-lt 6,5-le (tabel 2).

Tabel 2. Sõnnikuproovide keemiliste analüüside tulemused (28.05.2019)

Sõnnik	pH _{KCl}	KA, %	N _{tot} , kg m ⁻³	NH ₄ , k gm ⁻³	P, kg m ⁻³	K, kg m ⁻³	Ca, kg m ⁻³	C _{org} , %	S, kg m ⁻³
VS	7,5	6,9	2,8	1,5	0,45	2,4	1,5	35,5	0,27
HVS	6,5	6,9	2,9	1,6	0,46	2,4	1,5	35,6	1,0

VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik

Vedelsõnnik laotati 28.05.2019 ajavahemikus kell 10–14. Laotamise ajal oli õhutemperatuur 18 °C, ilm oli päikesepaisteline vahelduva pilvisusega, vihma ei sadanud ja puhus kerge tuul. Taimiku kõrgus oli ca 20 cm. Vedelsõnnik laotati Holmer liikurlaoturiga, millel oli 21 m³ vedelsõnniku mahuti ja 9 m rohumaa- ketastega avalõhe laotamiseade. Esmalt laotati hapestamata sõnnikuga variant ja seejärel hapestatud vedelsõnnikuga variant. Vedelsõnniku laotamise ajal võeti proovid nii hapestatud kui ka hapestamata sõnnikust ja saadeti keemilisteks analüüsideks (KA%, pH, P, K, Ca, S, N_{tot}, NH₄-N) Põllumajandusuuringute Kes- kuse laborisse.

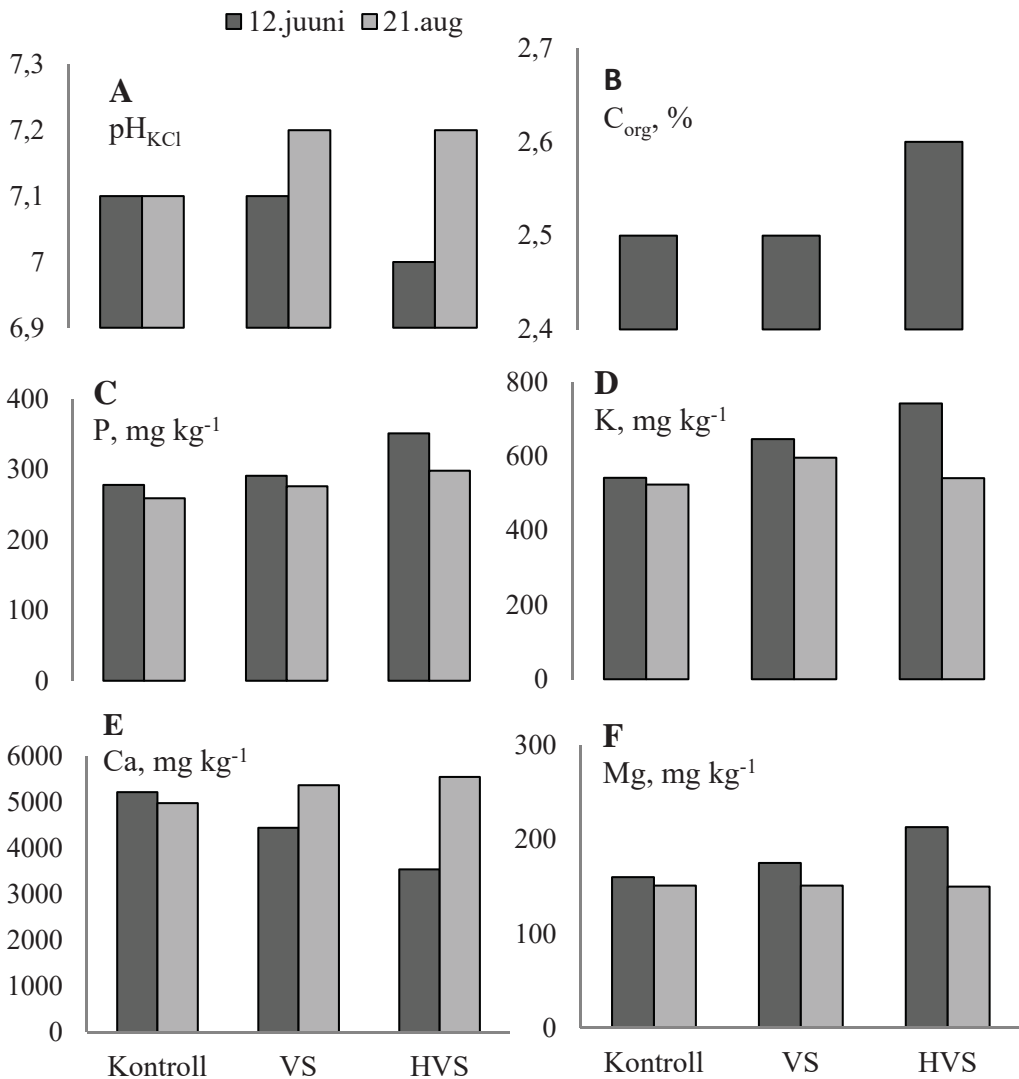
Mullaproovid võeti kõigist katsevariantidest 0–20 cm sügavuselt kaks nädalat pärast vedelsõnniku laotamist (12.06.2019) ja saagikoristuse järel (21.08.2019). Mullaproove võeti igast katsevariandist (40 üksikproovi), mis omakorda segati üheks keskmiseks prooviks. Mullaproovide keemiline analüüs (pH, C_{org}, P, K, Ca, Mg, SO₄-S, NO₃-N, NH₄-N) tehti Põllumajandusuuringute Keskuse labora- tooriumis. Mikrobioloogilised analüüsid mulla dehüdrogenaasi aktiivsuse (DHA, Tabatabai, 1982) ja fosfolipiidsete rasvhapete määramiseks (PLFA, Talve jt, 2021) tehti Eesti Taimekasvatuse Instituudi laboratooriumis.

Suviodral mõõdeti taimlehtede klorofüllisisaldust (SPAD) erinevates kasvu- faasides Zadoki skaala (Zadoks growth scale – GS) järgi: viljatupe paisumise faasis (GS 49) – 12.06.2019, loomise lõpus (GS 58) – 26.06.2019 ja piimküpsuse faasis (GS 77) – 11.07.2019. Kõigis katsevariantides mõõdeti eelpool nimetatud SPAD väärtused kolmes korduses. Iga kordus koosnes 10 taimest. Vihuproovid (a' 0,25 m²) võeti terasaagi määramiseks kolmes korduses 21.08.2019. Terad kuivatati, määrati terade kuivainesisaldus ja mass ning arvutati saagikus stan- dardniiskusele – 14%.

SPAD väärtuse, terasaagi ja terade proteiinisalduse andmed töödeldi dis- persioonanalüüsiga (ANOVA). Tulemuste usutavust hinnati Tukey testiga, kus usutavuse nivooiks võeti p < 0,05. Andmete statistiliseks analüüsiks kasutati pro- grammi JMP 5.0.1 (www.jmp.com).

Tulemused ja arutelu

Katseala asus mullastikul, mille P, K ja Mg väetistarbe klass oli väga väike (Kanger jt, 2014, joonised 1C, 1D ja 1F).



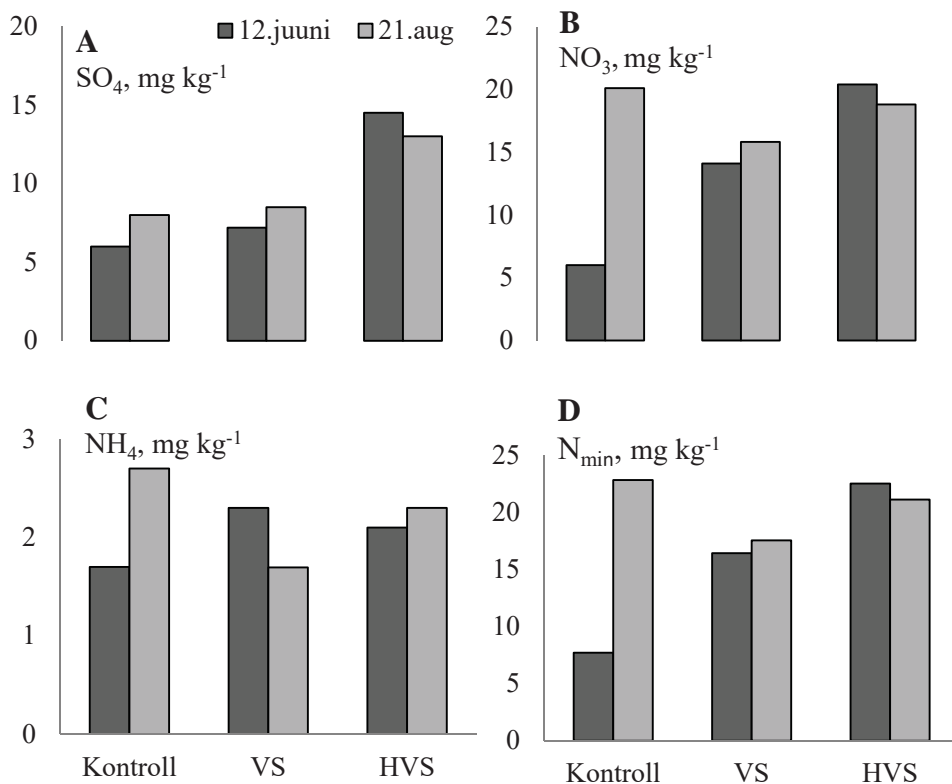
VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik.

Joonis 1. Mulla pH_{KCl} (A), C_{org}% (B), ning P (C), K (D), Ca (E), Mg (F) sisaldus mg kg⁻¹ kaks nädalat pärast vedelsõnniku laotamist (12.06.2019) ja suviadra saagikoristuse järel (21.08.2019)

Tulemustest selgus, et kaks nädalat pärast sõnniku laotamist (12.06) jäi mulla pH VS variandis kontrollvariandiga võrreldes samale tasemele ja HVS variandis mõnevõrra madalamale (joonis 1A). Samas suviadra koristamise järel (21.08) oli pH HVS variandis tõusnud VS variandiga võrreldes samale tasemele. Suurenenud oli ka sama variandi Ca sisaldus mullas, mis oli pärast sõnniku laotamist võr-

reldes kontroll ja VS variantidega madalaim. Mulla orgaanilise süsiniku sisaldust ($C_{\text{org}}\%$) määrati mullast vaid pärast vedelsõnniku laotamist ja see oli võrreldes kontroll ja VS variandiga veidi kõrgem HVS variandis (joonis 1B). 12. juunil oli HVS variandi mullas P, K ja Mg sisaldus võrreldes teiste katsevariantidega mõnevõrra suurem (joonised 1C, 1D ja 1F), kuid 21. augustiks olid näitajad langenud teiste variantidega samale tasemele.

Hapestatud vedelsõnnik sisaldas $0,73 \text{ kg m}^{-3}$ rohkem väevlit kui hapestamata sõnnik. Seega anti HVS katsevariandis 25 m^3 hapestatud sõnnikuga täiendavalt lisaks $18,25 \text{ kg ha}^{-1}$ väevlit ($25 \text{ m}^3 \times 0,73 \text{ kg S m}^{-3}$). Võrreldes kontroll ja VS varianti suurenes HVS variandis sulfaatväevli ($\text{SO}_4\text{-S}$) sisaldus mullas (joonis 2A). Kuigi selle tase mullas küll langes mõnevõrra, jäi ta ikkagi kõrgemaks ka saagikoristuse ajaks. Samas kontroll ja VS katsevariandis oli näha, et SO_4 sisaldus mullas oli saagikoristuse ajaks isegi tõusnud.



VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik.

Joonis 2. Mulla SO_4 (A), NO_3 (B), NH_4 (C) ja N_{min} (D) sisaldus mg kg^{-1} kaks nädalat pärast vedelsõnniku laotamist (12.06.2019) ja suviotra saagikoristuse järel (21.08.2019)

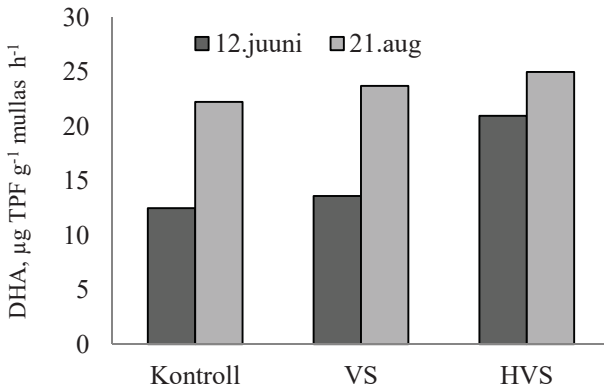
Kaks nädalat pärast laotamist oli HVS ja VS variantide NO_3 , NH_4 ja N_{\min} sisaldused võrreldes kontrollvariandiga kõrgemad (joonised 2B, 2D ja 2C). HVS variandi NO_3 sisaldus oli veidi kõrgem kui VS variandis ja seda nii peale laotamist kui ka saagikoristuse järel (joonis 2B). See võib omakorda viidata asjaolule, et vedelsõnniku hapestamise tulemusel vähenes lämmastiku kadu mullast. Lisaks tuleb arvestada seda, et juba laotamise ajal anti HVS variandile võrreldes VS variandiga 25 m^3 hapestatud vedelsõnnikuga täiendavalt $2,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ (tabel 2).

Sarnaselt SO_4 -le, jäi NO_3 ja N_{\min} tase VS ja HVS variantides saagikoristuse järel samale tasemele nagu pärast laotamist (joonised 2B ja 2D). Samas tõusid mõlemad näitajad kontrollvariandis. Kõrged SO_4 ja NO_3 näitajad VS ja HVS variantides mõlemal proovivõtu ajal võivad viidata sellele, et 2019. aasta sademetevaese vegetatsiooniperioodi tõttu ei kasutanud taimed sõnnikuga mulda viidud väävlit ja lämmastikku ära. Selles piirkonnas oli sademeid 1. aprillist kuni 1. septembrini kokku $202,8 \text{ mm}$. Eriti sademetevaene oli aprill, kus sademeid oli vaid $5,4 \text{ mm}$ (Keskkonnaagentuur / Ilm). Lisaks SO_4 ja NO_3 tõus kontrollvariandis võib viidata sellele, et vedelsõnnikuga väetamine pärssis VS ja HVS variantides suviodra eelvilja (maisi) jäänuuste lagunemisest. Seega oli taimejäänuste lagunemine kontrollvariandis aktiivsem, ning seoses sellega vabanes selles variandis mulda rohkem taimedele omastatavaid toiteaineid. Seda järeldust toetavad ka mikroobirühmade analüüsi tulemused (joonis 4).

Mulla dehüdrogenaasi aktiivsus ja mikroobirühmade koosseis mullas

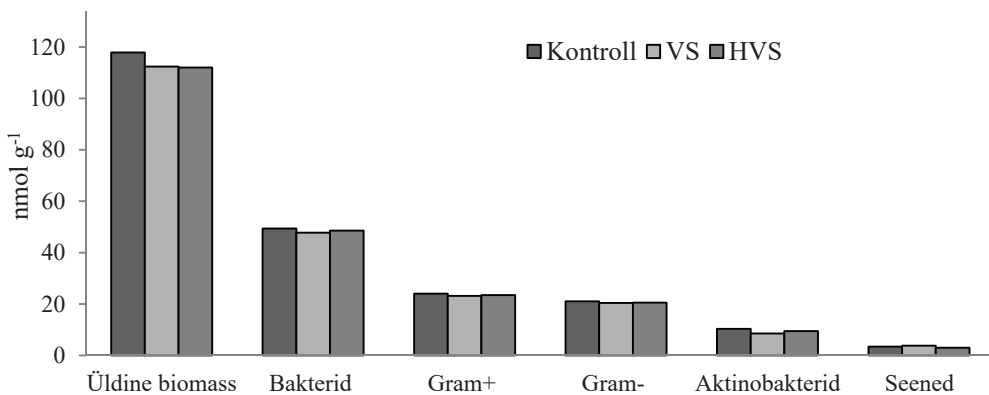
Mulla mikrobioloogilise aktiivsuse tulemused ei näidanud katsevariantide vahel suuri erinevusi (joonis 3). Samas oli näha, et HVS variandis oli mulla dehüdrogenaasi aktiivsus nii 12. juunil kui ka 21. augustil kõrgem kui teistes variantides. Põhjus võis olla selles, et HVS variandis võrreldes VS variandiga viidi hapestatud sõnnikuga mulda rohkem väävlit (tabel 2), mis on mikroorganismide arengul elutähtsaks keemiliseks elemendiks. Seda eriti muldadel, kus väävli sisaldus on madal. Ka Chowdhury jt (2000) on oma uuringutes leidnud, et mikroobse biomassi moodustamiseks on mullas elavate mikroorganismide miinimum vajaduseks vähemalt 11 mg S kg^{-1} .

Mikroobikoosluste analüüs tehti mullast vaid saagikoristuse järgselt ning tulemuste põhjal oli märgata, et kõikide määratud rühmade puhul oli nende osakaal veidi suurem just kontrollvariandis (joonis 4). Mikroorganismid on mullas väga olulised orgaanilise aine lagundajad ja toitaineteringes osalejad. See võis olla ka üheks põhjuseks, miks kontrollvariandi mulla lämmastiku sisaldus (NH_4 ja NO_3) võrreldes HVS ja VS variantidega sügiseks märgatavalt suurenes (joonised 2B, 2C). Mullas elavad mikroseed on esmased lagundajad peale põllukultuuri koristamist ja selle protsessi alguses ületab nende arvukus ka baktereid (Pintarič jt, 2022).



VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik

Joonis 3. Mulla dehüdrogenaasi aktiivsus (DHA, µg TPF g⁻¹ mullas h⁻¹) kaks nädalat pärast vedelsõnniku laotamist (12.06.2019) ja suviotra saagikoristuse järel (21.08.2019)



VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik

Joonis 4. Mulla mikroobikoosluste biomass (nmol g⁻¹) suviotra saagikoristuse järel (21.08.2019)

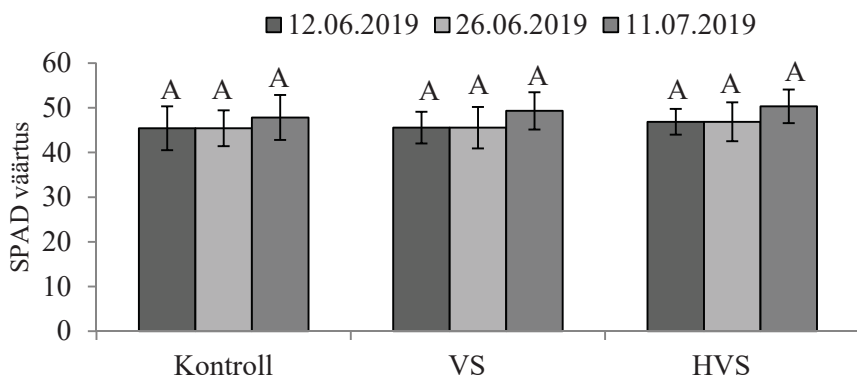
Üheks põhjuseks, miks sõnniku kasutamisel mikroobikoosluste biomassid langesid, võib olla ka sõnniku kvaliteet. Sõnnikus võib leiduda erinevaid ravimi- (antibiootikumid jne) ja desovahendite jääke, mis otseselt mõjutavad mullas elavaid mikroorganisme. Kuna aga eelpool nimetatud aineid sõnnikust ei määratud, ei saa seda kindlalt väita ja see oletus on hüpoteetiline.

Suviotra SPAD väärtus, terasaak ja terade proteiinisaldus

SPAD väärtused olid kontrollvariandis kõigil kolmel mõõtmisel veidi madalamad (joonis 5). Võrreldes kontroll ja VS variantidega oli SPAD näit kõigil

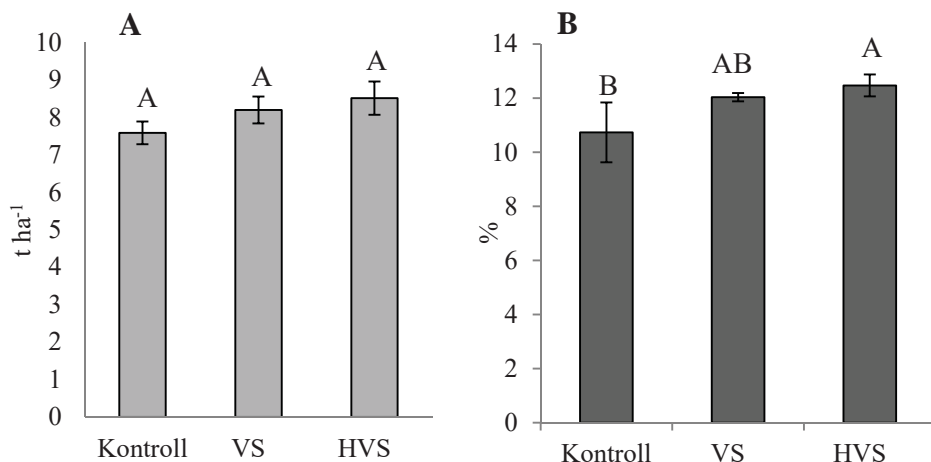
mõõtmiskordadel kõrgem HVS variandis, mis viitab taimede lämmastiku paremale kättesaadavusele antud variandis. Usutavaid erinevusi variantide vahel aga ei ilmnenud.

Terasaagi ja proteiinisalduse osas ei olnud VS ja HVS variantide vahel statistiliselt usutavaid erinevusi (joonised 6A ja 6B). Terasaak jäi mõlema sõnnikuga variandi puhul samale tasemele. Veidi madalam saak ja statistiliselt usutavalt madalam proteiinisaldus oli aga kontrollvariandis.



VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik. Vertikaaljooned joonisel näitavad keskmiste standardhälvet ja tähed nende kohal tähistavad statistiliselt olulist erinevust variantide vahel (Tukey test $p < 0,05$)

Joonis 5. Suviotra SPAD väärtused 12.06 (GS 49), 26.06 (GS 58) ja 11.07 (GS 77)



VS – veise vedelsõnnik; HVS – hapestatud veise vedelsõnnik. Vertikaaljooned joonisel näitavad keskmiste standardhälvet ja tähed nende kohal tähistavad statistiliselt olulist erinevust variantide vahel (Tukey test $p < 0,05$)

Joonis 6. Suviotra terasaak (A, t ha⁻¹) ja terade proteiinisaldus (B, %)

Kokkuvõte

Veise vedelsõnniku hapestamise tulemused näitasid tendentsi, et seoses hapestamisega suudetakse vähendada lämmastiku kadu sõnnikust. Seda trendi näitasid nii kasvuajal taimikust mõõdetud SPAD näitajad kui ka hilisemad terasaagi ja proteiinisalduse andmed. Kuna kahjuks oli katseaasta vegetatsiooniperiood sademetevaene, oli toitainete omastamine taimede poolt pärsitud ning erinevused ei olnud väga selgepiirilised.

Hapestatud veise vedelsõnniku kasutamine vähendas mulla pH ja suurendas väävli sisaldust mullas. Mulla pH langus ei olnud aga püsiv ja saagikoristuse järel oli see tõusnud. Katsetulemuste põhjal ei selgunud, et hapestatud sõnniku kasutamine põhjustaks mingit negatiivset mõju mulla mikroobikooslusele.

Tänuavaldused

Tootmiskatset rahastati Maaeluministeeriumi Teadmussiirde Pikaajalise programmi raames. Täname hea koostöö eest ettevõtet Voore Farm OÜ.

Kasutatud kirjandus

- Carozzi, M., Ferrara, R.M., Rana, G., Acutis, M. 2013. Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands. *Sci. Total Environ.* 449, lk 126–133.
- Chowdhury, M.A.H., Kouno, K., Ando, T. 2000. Critical sulphur concentration and sulphur requirement of microbial biomass in a glucose and cellulose-amended regosol. *Biol. Fertil. Soils* 32, lk 310–317.
- Järvan, M. 2008. Väävel taimede toitumises. Eesti Maaviljeluse Instituut. 88 lk.
- Edesi, L., Talve, T., Akk, E., Vösa, T., Saue, T., Loide, V., Vettik, R., Plakk, T., Tamm, K. 2020. Effects of acidified pig slurry application on soil chemical and microbiological properties under field trial conditions. *Soil & Tillage Research*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104650>
- Eriksen, J., Sorensen, P., Elsgaard, L. 2008. The fate of sulfate in acidified pig slurry during storage and following application to cropped soil. *J. Environ. Qual.* 37, lk 280–286.
- JMP 5.0.1. https://www.jmp.com/en_us/home.html
- Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H., Astover, A., Ilumäe, E., Lauringson, E., Loide, V., Penu, P., Rooma, L., Sepp, K., Talgre, L., Tamm, U. 2014. Väetamise ABC. Põllumajandusuuringute Keskus, 50 lk.
- Keskonnaagentuur/Ilm. [https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajaloolised-ilmaandmed/\(10.01.2023\)](https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajaloolised-ilmaandmed/(10.01.2023))
- Pintarič, S., Suhadolc, M., Eler, K. 2022. Straw management and slurry application affect the soil microbial community composition and its activity. – *Agronomy*, lk 1–19.

- Pääsuke, T. 2022. Hapestatud veise vedelsõnniku mõju püsirohuma mulla omadustele ja saagikusele. Magistritöö, Eesti Maaülikool, Põllumajandus– ja keskkonnainstituut. 41 lk.
- Talve, T., Edesi, L., Karron, E., Võsa, T., Vettik, R., Tamm, K. 2021. Hapestatud sea vedelsõnniku mõju mulla mikroobikooslustele talinisu näitel. *Agronomia*, lk 52–62.
- Tamm, K., Vettik, R., Viil, P., Võsa, T., Kažotnieks, J. 2016. Sõnnikulaotamise tehnoloogiate võrdlev uuring. Eesti Taimekasvatuse Instituut, Läti Nõuandekeskus. Eesti Põllumajandus- Kaubanduskoda. https://epkk.ee/wp-content/uploads/2019/12/S%C3%B5nnikulaotamise-tehnoloogiad_Aruanne.pdf (09.01.2023)
- Ten Hoeve, M., Gómez-Muñoz, B., Jensen, L.S., Bruun, S. 2016. Environmental impacts of combining pig slurry acidification and separation under different regulatory regimes – a life cycle assessment. *J. Environ. Manage.* 181, lk 710–720.
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* American Society of Agronomy & Soil Science. Society of America, Madison. Wisconsin, lk 903–949.
- Zadoks growth scale. <https://www.agric.wa.gov.au/grains/zadoks-growth-scale> (07.02.2023)

KALTSIUMI JA MAGNEESIUMI SISALDUSE MUUTUS PIKAAJALISES MAHEKÜLVIKORRAS

Liina Talgre, Viacheslav Eremeev, Jaan Kuht, Anne Luik

Eesti Maaülikooli põllumajanduse ja keskkonnainstituut

Abstract. Talgre, L., Eremeev, V., Kuht, J., Luik, A. Changes of soil calcium and magnesium content in a long-term organic crop rotation experiment during one rotation. – Agronomy 2023.

Plants need calcium (Ca) and magnesium (Mg) in rather large amounts but the long-term effect of farming systems on their content in the soil has been little studied. The content of Ca and Mg in the soil was studied on the long-term five-field crop rotation experiment of the Estonian University of Life Sciences in Eerika. There were 5 crops in rotation: barley with clover sowing - red clover - winter wheat - field pea and potato. There were 3 different organic systems which included winter cover crops and composted manure. The use of winter cover crops and manure were improve soil fertility, increase the content of organic matter and biological activity in soils. Our results showed that growing winter cover crops and using composted manure in the crop rotation increase both soil Ca and Mg content.

Keywords: organic farming, winter cover crops, manure

Sissejuhatus

Mulla viljakuse olulisteks näitajateks on mulla süsiniku (C) ja lämmastiku (N) sisaldus, mis mõjutavad mulla keemilisi, füüsikalisi ja bioloogilisi omadusi (Lal jt, 2007). Ka kaltsiumi (Ca) ja magneesiumi (Mg) vajavad taimed üsna suurtes kogustes. Ca reguleerib taimes mitmeid biokeemilisi protsesse, seob mulla-agregaate ja moodustab hea struktuuriga mulla. Mg mängib olulist rolli taimefüsioloogias nii klorofüllil kui ka valkude sünteesis ja ensüümide aktiveerimisel. Seetõttu võib selle kättesaadavus mullas osutada taime kasvu limiteerivaks teguriks (Ishfaq jt, 2022). Mg parandab lämmastiku (N) ja fosfori (P) omastamist taimede poolt (Loide, 2016). Mg omastamist mullast mõjutab Ca ja Mg ning Mg ja kaaliumi (K) tasakaal. Tavatootmises saab toitainete puudust üsna kiiresti likvideerida mineraalväetisi kasutades. Maheviljeluse eesmärk on mini-meerida väliste sisendite kasutamist ja püüda parimal viisil kasutada kohalikke loodusressursse, nagu mulla mineralisatsioonil vabanevate toitainete taaskasutus ja bioloogiline lämmastiku sidumine liblikõieliste poolt. Lisaks lämmastikule sisaldavad liblikõielised võrreldes kõrreliste taimedega rohkem kaltsiumi ja magneesiumi. Arvestatavas koguses sisaldavad Ca ja Mg ka umbrohud (Kuu-sela, 2006). Talvised vahekultuurid seovad külvikorras kasvuperioodi jooksul sõltuvalt aastast ja liigist Ca 17–129 kg ha⁻¹ ja Mg 8–32 kg ha⁻¹ ja vähendavad seega nende toitainete leostumist künnikihi alustesse kihtidesse (Talgre jt, 2022).

Mitmed sama katse põhjal avaldatud artiklid on käsitletud viljelusviiside pikaajalist mõju mulla mikroobide aktiivsusele (Eremeev jt, 2020; Esmaeilza-

deh-Salestani jt, 2021), mulla C sisaldusele (Kauer jt, 2021), P ning K sisaldusele ning pH muutustele (Keres jt, 2020), kuid vähem on uuritud viljelusviisi pikaajalist mõju mulla Mg ja Ca sisaldusele. Käesoleva töö eesmärk oli hinnata talviste vahekultuuride ning nende koosmõju sõnnikuga mulla Ca ja Mg sisaldusele pikaajalise külvikorra katse mahesüsteemides. Tulemused on esitatud muutuste kohta teise (2013–2017) rotatsiooni jooksul, mida võrreldi esimese rotatsioon lõpuga (2012. a).

Materjal ja meetodika

Mulla Ca ja Mg sisaldust uuriti Eesti Maaülikooli taimekasvatuse ja taimebioloogia õppetooli pikaajalises külvikorra katses, mis koosnes erinevatest viljellussüsteemidest. Katse rajati 2008. a. Antud artiklis analüüsiti kolme mahevilluse (Mahe 0, Mahe I ja Mahe II) süsteemi külvikorra teise rotatsiooni vältel. Külvikord oli järgmine: oder ristiku allakülviga – punane ristik – talinisu – põldhernes ja kartul. Mahe 0 süsteem järgis vaid külvikorda, Mahe I süsteemis kasvatati talviseid vahekultuure ning Mahe II süsteem oli talviste vahekultuuride ja komposteeritud veisesõnnikuga viljellussüsteem. Veisesõnnikut anti külvikorras olevatele teraviljadele 10 ja kartulile 20 t ha⁻¹. Katselapid olid 60 m² suurused ja neljas korduses. Katsepõllul oli kahkjäs (näivleetunud) liivsavimuld. Mahesüsteemide pH väärtused jäid vahemikku 5,75 (Mahe 0)–6,08 (Mahe II).

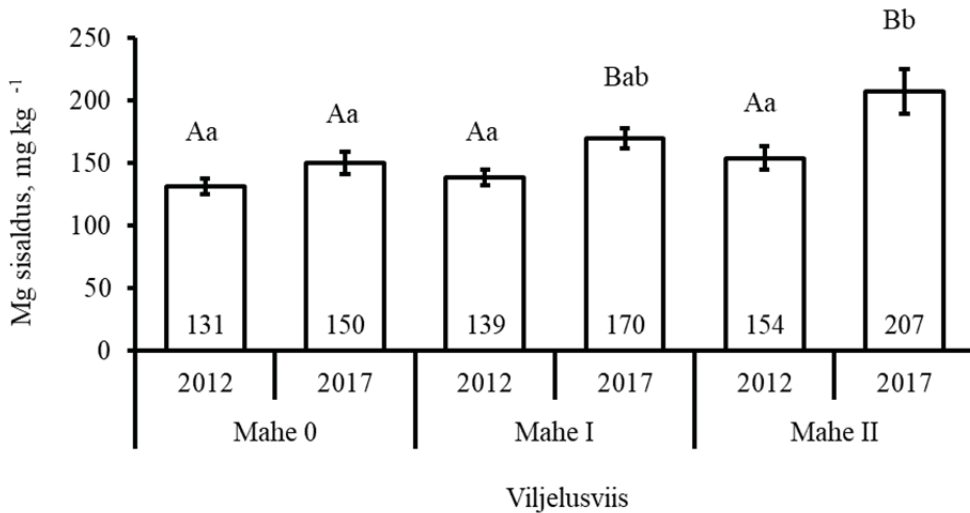
Mullaproovid koguti kevadel, aprilli teises pooles, vahetult enne mullaharimist 0–20 cm mullakihist. Liikuva Ca ja Mg sisaldus määrati AL-meetodil EMÜ mullateaduse õppetooli laboris.

Katseandmed töödeldi statistiliselt dispersioonanalüüsi (ANOVA) meetodil, kasutades andmetöötlusprogrammi Statistica 13 (Statsoft, 2007). Variantide vaheliste erinevuste hindamiseks kasutati Tukey HSD testi, $p < 0,001$.

Tulemused ja arutelu

Mg sisaldus oli esimese rotatsiooni (2008–2012) lõpus 0–20 cm mullakihis kõigis mahesüsteemides statistiliselt samal tasemel. Teise rotatsiooni (2013–2017) läbimisel suurenes Mg sisaldus usutavalt Mahe II süsteemis. Ka Mahe I süsteemis oli tendents Mg sisalduse suurenemisele. Mahe 0 süsteemis, kus ei kasvatatud vahekultuure ja ei antud sõnnikut püsis Mg sisaldus katseperioodi jooksul praktiliselt muutumatuna (joonis 1). Mulla Ca sisaldus tõusis teise rotatsiooni vältel kõigis mahesüsteemides ja see ei sõltunud viljellussüsteemist (joonis 2). Ilmselt oli Mg sisalduse tõus seotud vahekultuuride kasvatamisega Mahe I süsteemis ja sõnniku ning vahekultuuride koosmõjuga Mahe II süsteemis. Ka Bulluck III jt (2002) on oma uurimuses välja toonud, et mahetootmises on vahekultuuride ja multside kasutamine suurendanud mulla Ca ja Mg sisaldust võrreldes

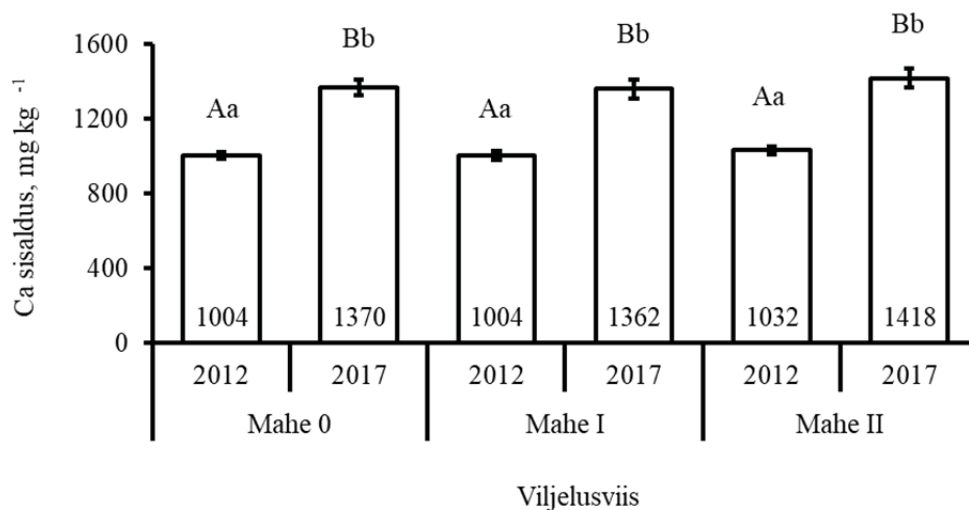
tavapäraste sünteetiliste väetiste kasutamisega. Clark jt (1998) uurimus kinnitas, et sõnnikuga väetamine suurendas mulla Ca ja Mg sisaldust. Seevastu maheviljeluse katsed Rootsis näitasid, et viie aasta jooksul ei muutunud mulla Ca ja Mg sisaldus mulla künnikihis, mõningane Mg vähenemine toimus 20–40 cm kihis (Løes, Øgaard, 1997).



Joonis 1. Mulla magneesiumi (Mg) sisaldus (mg kg⁻¹) erinevates maheviljelussüsteemides (2012. ja 2017.a). Vearivad joonisel tähistavad standardviga. Erinevad suured tähed tähistavad statistiliselt olulist erinevust aastate vahel ja erinevad väiksed tähed tähistavad olulist erinevust viljelussüsteemide vahel (Tukey HSD, $p < 0,001$)

Meie varasemad tulemused on näidanud mulla orgaanilise C ja N sisalduse tõusu kõigis mahesüsteemides, mis on suurendanud mikroobide aktiivsust (Esmaeilzadeh-Salestani jt, 2021). Mikroobide aktiivsuse suurenemine toob kaasa toitainete kiirema mineraliseerumise (Bulluck III jt, 2002). Sellest võis olla tingitud ka Ca sisalduse suurenemine kõigis mahesüsteemides. Ka külvikorras kasvatatavad liblikõielised ja põllule jäänud põhk võisid mulla Ca sisaldust tõsta. Ka Das jt (2017) on oma uurimistöös esile tõstnud põhu kui mulla Ca sisalduse suurendaja.

Ca ja Mg suhe võiks mullas olla 10–20 : 1 (Loide, 1996). Meie katseperioodi algul oli see sõltuvalt viljelussüsteemist 6,7–7,9 ja teise rotatsiooni lõpuks suurenes see kõigis süsteemides. Kõige laiem oli suhe Mahe 0 süsteemis – 9,1 ja madalaim Mahe II süsteemis – 6,8. Võimalik, et kõrgem Ca ja Mg suhe tooks kaasa parema mullastruktuuri ja lämmastiku suurema omastamise taimede poolt (Deru jt, 2021).



Joonis 2. Mulla kaltsiumi (Ca) sisaldus (mg kg^{-1}) erinevates maheviljelussüsteemides (2012. ja 2017. a). Vearibad joonisel tähistavad standardviga. Erinevad suured tähed tähistavad statistiliselt olulist erinevust aastate vahel ja erinevad väiksed tähed tähistavad olulist erinevust viljelussüsteemide vahel (Tukey HSD, $p < 0,001$)

Kokkuvõte

Meie tulemused näitasid, et vahekultuuride kasvatamine ja sõnniku kasutamine külvikorras suurendasid oluliselt mulla Mg sisaldust. Ca sisaldus suurenes katseperioodi jooksul kõigis mahesüsteemides. Katseperioodi vältel paranes mullas ka Ca ja Mg suhe. Vahekultuuride ja sõnniku kasutamisega on võimalik parandada mulla viljakust ja vähendada ka tavatootmises kulukate anorgaaniliste väetiste kasutamist.

Tänuavaldused

Artikkel on valminud projektide ERA-NET Core organic FertilCrop ja ERA Net Core Organic ALL-Organic toel.

Kasutatud kirjandus

- Bulluck III, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K., Ristaino, J.B. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. – *Applied Soil Ecology* 19, pp 147–160.
- Clark, M.S., Horwath, W.R., Shennan, C., Scow, K.M. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. – *Agronomy Journal* 90, pp 662–671.

- Das, S.K., Avasthe R.K., Yadav, A. 2017. Secondary and micronutrients: deficiency symptoms and management in organic farming. www.innovativefarming.in (10.01.2023)
- Deru, J.G.C., Hoekstra, N., van Agtmaal, N., Bloem, J., de Goede, R., Brussard, L., van Eekeren, N. 2021. Effects of Ca:Mg ratio and pH on soil chemical, physical and microbiological properties and grass N yield in drained peat soil. – *New Zealand Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.1080/00288233.2021.1990087> (8.01.2023)
- Eremeev, V., Talgre, L., Kuht, J., Mäeorg, E., Esmaeilzadeh-Salestani, K., Alaru, M., Loit, E., Runno-Paurson, E., Luik, A. 2020. The soil microbial hydrolytic activity, content of nitrogen and organic carbon were enhanced by organic farming management using cover crops and composts in potato cultivation. – *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil & Plant Science* 7(1), pp 87–94.
- Esmaeilzadeh-Salestani, K., Bahram, M., Ghanbari, M.S.R., Gohar, D., Tohidfar, M., Eremeev, V., Talgre, L., Khaleghdoust, B., Mirmajlessi, S.M., Luik, A., Loit, E. 2021. Cropping systems with higher organic carbon promote soil microbial diversity. – *Agriculture Ecosystems & Environment* 319, <https://doi.org/10.1016/j.agree.2021.107521>.
- Ishfaq, M., Wang, Y., Yan, M., Wang, Z., Wu, L., Li, C., Li, X. 2022. Physiological essence of magnesium in plants and widespread deficiency in farming system of China. – *Frontiers of Plant Science* 13, pp 1–17.
- Kauer, K., Pärnpuu, S., Talgre, L., Eremeev, V., Luik, A. 2021. Soil Particulate and Mineral-Associated Organic Matter Increases in Organic Farming under Cover Cropping and Manure Addition. – *Agriculture* 11 (9), pp 903.
- Kuusela, E. 2006. Annual and seasonal changes in mineral contents (Ca, Mg, P, K and Na) of grazed clover-grassmixtures in organic farming. – *Agricultural and food science* 15, pp 23–34.
- Lal, R., Follett, F., Stewart, B.A., Kimble, J.M. 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. – *Soil Science* 172, pp 943–956.
- Løes, A.-K., Øgaard, A.F. 1997. Changes in the Nutrient Content of Agricultural Soil on Conversion to Organic Farming in Relation to Farm-Level Nutrient Balances and Soil Contents of Clay and Organic Matter. – *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil & Plant Science* 47, pp 201–214.
- Loide, V. 1996. Mulla liikuva magneesiumi sisalduse ning kaltsiumi ja magneesiumi suhte mõju põllukultuuride saagile. https://agrt.emu.ee/pdf/1996_1_loide.pdf (8.01.2023)
- Loide, V. 2016. Põllukultuuride magneesiumi vajadusest. https://www.oilseeds.ee/sites/default/files/08_magneesium_valli_loide.pdf (10.01.2023)
- Statsoft. *Statistica 7.0*; Copyright 1984–2005; StatSoft Inc.: Tulka, OK, USA, 2005, 716 p.
- Talgre, L., Lauringson, E., Toom, M. 2022. “Põhikultuuride järel vahekultuurina kasvatamiseks sobivate liikide ja segude ning nende viljelemiseks sobiva agrotehnika väljatöötamine“. Lõpparuanne. https://soilprotection.earth/wp-content/uploads/2022/02/Vahekultuurid_innovatsioonitegevuse-lõpparuanne.pdf (10.01.2023)

TAIMEDELE OMASTATAVA FOSFORI SISALDUSEST MULLAS JA SELLE MÄÄRAMISEST

Tõnu Tõnutare, Tõnis Tõnutare, Raimo Kõlli, Kadri Krebstein

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Tõnutare, T., Tõnutare, T., Kõlli, R., Krebstein, K., 2023. About the plant available phosphorus in soil and methods of its determination.– Agronomy 2023.

The phosphorus (P) is an indispensable macronutrient for plants. P can be present in soils in different forms: soluble phosphates, adsorbed phosphates on the surfaces of soil solid particles, phosphates in composition of non soluble minerals and P in organic compounds.

Only a small fraction of soil P is available to plants. Most P is taken up by plants from the soil as orthophosphate.

Over the last 130 years, many methods have been developed to analyse the P content in soils. Most commonly, extraction methods are used to determine the P content of soils. For extraction typically low-concentration solutions of salts, acids or their mixtures are used. Before WWII mainly mono- or bielement methods were developed and used for P analysis. In the second half of the last century, several multielement extraction methods were developed and nowadays, – multielement extraction methods are mainly used for the analysis of soil plant nutrient. In Europe, more than 10 different methods for the determination of P in soils are currently in use. In Estonia, three different methods have been used over the last 60 years – AL, DL and Mehlich 3. Today, Mehlich 3 is the most commonly used method in Estonia, but also previously used AL and DL are used in some research.

Keywords: soil, plant available phosphorus, methods of determination

Sissejuhatus

Fosfor (P) on oluline toiteelement nii maismaa kui vee ökosüsteemides konkureerides tähtsusele lämmastiku ja süsinikuga (Schlesinger, 1997). P on üks 17-st taimede kasvuks vajalikust elemendist (Vance jt, 2003) ja tema sageli madal bioloogiliselt omastatav kogus keskkonnas on lämmastiku järel tähtsusele teine kõige piiravam tegur biomassi tootmisel paljudes ökosüsteemides ja eriti põllumajanduslikult kasutatavatel maadel (Otani, Ae, 1995; Schlesinger, 1997; Malboobi jt, 2014;). Kuna taimede kasv sõltub kasutada olevast P kogusest, siis on P piisav varu mullas ülioluline taimekasvatussaaduste tootmisel (Malboobi jt, 2014) ning meie toiduga varustatuse tagamiseks on oluline selle kohta adekvaatse info omamine. Euroopas on praegu selleks kasutusel rohkem kui 10 üksteisest erinevat määramismeetodit (Mattila, Rajala, 2021). Seoses väetisetootmiseks kasutatavate P varude ammendumisega lähemate aastakümnete jooksul on taas hoogustunud uurimised mõistmaks P aineriinget muld-taim süsteemis ja tuvastamaks tegureid, mis ja kuidas määravad mulla P muutumise taimedele kättesaadavaks (Müller, Zhang, 2019).

Fosfor mullas

Mullas esineb P väga erinevates vormides, nii orgaaniliste kui anorgaaniliste ühendite koostises. Kogu mullas oleva P võib jagada nelja erineva klassi vahel (Wuencher jt, 2015):

- 1 – mulla lahuses lahustunud P
- 2 – mulla mineraalide pinnale adsorbeerunud P
- 3 – Ca, Al, Fe fosfaatsete mineraalide koostises
- 4 – orgaanilise aine koostises olev P

Osakeste pindadele sadenenud ja lahustunud P loetakse kergesti ekstraheeruvaks (Amini jt, 2022). Vastavalt Harrissonile (1987) on anorgaaniliste ühendite koostisesse seotud 35 kuni 70% kogu mullas sisalduvast P-st.

Fosforühendite koostist ja sisaldust mullas juhivad paljud erinevad samaaegselt toimuvad protsessid, milleks on lahustumine, sadestumine, sorptsioon, desorptsioon, leostumine ja mineralisatsioon. Mullas olevate mineraalide koostises olev P muutub lahustuvaks mineraalide aeglase, kuid pideva lagunemisprotsessi tagajärjel. Lahustunud fosfaatioonid (sõltuvalt pH-st H_2PO_4^- või HPO_4^{2-}) kas leostuvad mullast välja, sadenevad mullalahuses olevate katioonide toimel, sorbeeruvad erinevate osakeste pinnal või tarbitakse ära erinevate elusorganismide poolt. Kuna mullas toimuvad pidevalt erinevad bioloogilised ja keemilised protsessid, siis koos sellega toimub ka pidev P liikumine erinevate fraktsioonide vahel.

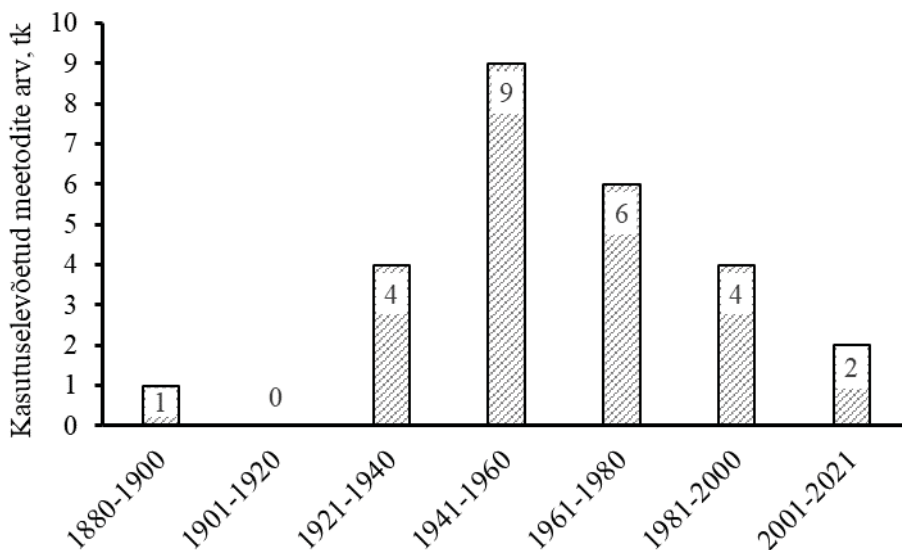
Lahustunud fosfor mullas

Enam kui 96% taimede poolt mullast omastatud P-st on pärit just mulla vees lahustuvast fraktsioonist (Beck jt, 1994). Taimede juurestik on kõige paremini kohanenud vees lahustunud H_2PO_4^- ja mõnevõrra halvemini HPO_4^{2-} aniooni tarbimiseks. Nende ionide kontsentratsioon mulla lahuses on enamasti väga madal, jäädes 0,1–10 μM suurusjärku (Hinsinger, 2001). Protsentides väljendades tähendab see P kui elemendi kontsentratsiooni mullalahuses 3×10^{-5} – $3 \times 10^{-7}\%$ vahemikus. Enamasti omastavad taimed just mullalahuses lahustunud divesinikfosfaatset P, sest pH väärtusel alla 7,0 on lahuses ülekaalus H_2PO_4^- anioon võrreldes HPO_4^{2-} iooniga (Raghothama, 1999; Ziadi jt, 2013; Ducouso-Détrez jt, 2022). PO_4^{3-} anioonidel taime kasvu jaoks praktiline väärtus puudub. See on seotud kaltsiumi ja magneesiumi fosfaatide väga madala lahustuvusega – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ lahustuvus on väga väike ~0,33 mg 1 liitris vees (Zhang jt, 2014) ja seega ka PO_4^{3-} kontsentratsioon mulla lahuses on väga madal. Enamus läbiviidud uuringuid on näidanud, et P omastatavus on suurim pH vahemikus 5,0–6,6, kus mullalahuses domineerib H_2PO_4^- anioon (Furihata jt, 1992).

Taimedele omastatava P analüüsi meetodite areng

P kui taimedele vajaliku elemendi sisaldust mullas on uuritud juba alates 19. sajandi keskpaigast. Sellel ajal selgitati välja, et mullad suudavad siduda lahuses olevat fosfaatiooni (Way, 1850; Syers jt, 2008). 1870. aastatel uuris J. v. Liebig Rothamstedi katsejaamas 1843. aastal alusatud talinisu katses P-ga väetatud ja väetamata katselappide muldi, ekstraheerides neid mineraalhapete lahjade lahustega. Nende katsete tulemusena selgus, et P-ga väetatud katselappide mullad sisaldasid rohkem kergesti lahustuvat P-t kui väetamata katselappide mullad (Syers jt, 2008). Neid töid võib pidada muldade taimedele omastatava P ja ka teiste P fraktsioonide sisalduse uurimiste alguseks. Otseselt esimeseks taimedele omastatava P vormi sisalduse ja selle alusel vajaliku P väetise koguse määramiseks võib pidada 1894. aastal Dyer'i poolt läbi viidud uurimist. Tema teooria alusel oleks pidanud parimal ekstraheerival lahusel olema taime juure mahlaga sama pH (Syers jt, 2008).

Juba alates esimestest mulla P sisalduse määramisega seotud uurimustest on teada, et kogu mullas sisalduv P ei ole taimedele kättesaadav ega ole see ka taimedele kättesaadava P koguse indikaatoriks. Seetõttu on sellest ajast alates otsitud ja väljatöötatud hulgaliselt erinevaid meetodeid taimedele kasutada oleva P koguse määramiseks või hindamiseks mullas. Meetodite arendustööst alates 19. sajandi lõpust kuni tänapäevani aitab ettekujutus saada joonis 1. Et saada paremat ettekujutust meetodite väljatöötamise intensiivsusest, on periood,



Joonis 1. Uute taimedele omastatava mulla P sisalduse määramismeetodite esmamainimiste histogram ajavahemikul 1880 kuni 2021

alates 1880 kuni tänapäevani, jagatud 20 aasta pikkusteks ajavahemikeks. Oma ülevaates oleme kasutanud ainult Euroopas ja USA-s enimtuntud meetodeid. Kuigi uurimistöid teostati ja esimene laiemalt tunnustatud meetod on pärit üleelmisest sajandist (1894), siis intensiivsem meetodite arendustöö sai alguse pärast I maailmasõda ja mitmete senikasutatavate meetodite esmakirjeldused pärinevad 1930. aastatest. Kõige produktiivsem periood uute meetodite arengus oli ajavahemik 1941–1960, mil töötati välja 9 erinevat Euroopas ja Põhja-Ameerikas kasutatavat meetodit. Hiljem on uute meetodite arv pidevalt vähenenud. Selle sajandi jooksul on kirjanduse andmeil väljatöötatud ainult kaks uut meetodit – Lancasteri modifitseeritud ja H3A meetodid. Tõsi, viimase kohta on küll arendamise käigus välja pakutud neli erinevat vahevarianti, kuid meetodiks arvestame ikkagi arendustöö lõpptulemust (Haney jt, 2006, 2010, 2017).

Bioloogilised ja ekstraktsioonimeetodid mulla P sisalduse määramiseks

Taimedele omastatava P määramise meetodid võib nende iseloomu järgi jagada kahte põhimõtteliselt erinevasse rühma: bioloogilised meetodid ja ekstraktsioonimeetodid. Bioloogiliste meetodite puhul viiakse läbi välikatse, mille tulemusel määratakse ära taime poolt mullast omastatud P hulk. Selleks tehakse katse lõpus mulla ja taime keemiline analüüs. Kuna selline määramine on väga aja- ja töömahukas, siis ei sobi need klassikaliseks mulla P sisalduse määramiseks. Samas sobib see meetod aga väetustarbe gradatsioonide koostamiseks. Erinevalt bioloogilistest meetoditest on ekstraktsiooni meetodid teostatavad labori tingimustes ja suhteliselt väikese ajakuluga. Vanderdeelen (2002) ning Kamprath ja Watson (1980) järgi peab hea ekstraktsioonimeetod vastama kolmele tingimusele:

1. kasutatav ekstraheerimise lahus peab ekstraheerima kogu või proportsionaalse osa taimedele omastatavast elemendist erinevate omadustega muldadest,
2. ekstraheeritud elemendi sisaldus peab olema määratav mõistliku aja ja vajaliku täpsusega,
3. ekstraheeritud elemendi kogus peab korreleeruma iga taime saagiga erinevates kasvutingimustes.

Ekstraktsioonimeetodite iseloomustus

Ekstraktsioonimeetodid erinevad omavahel vaid ekstraheerimiseks kasutatava lahuse keemilise koostise, ekstraheerimise aja ning muld/lahus suhte poolest (tabel 1). Ekstraktsiooniks kasutatakse hapete, soolade ja nende segude madala kontsentratsiooniga vesilahuseid või ka puhast vett (tabel 2). Ekstraktsioonilahuste koostise väljatöötamisel on enamasti olnud eesmärgiks risosfääris oleva keskkonna imiteerimine. Kuna taimede juurte eritised tingivad nõrgalt happelise keskkonna tekke, siis on valdavalt kasutusel happelise reaktsiooniga

Tabel 1. Euroopas kasutusel olevad mulla P sisalduse määramise meetodid

Meetod ^a	Elemendid	pH	Muld:lahus	Ekstraheeri- mise aeg, min	Riik ^b
Dyer	P		1:5	240	FR,
H ₂ O	P, K,Mg		1:60 ^c	60 ^d	NL, AT, CH, DE
Kirsanov	P, K	0,7	1:5	15	RU
Chirikov	P, K	2,5	1:10	5/10	UA
DL	P, K	3,7	1:50	90	LV,PL,DE,AT
Bray P1	P	< 2,9	1:10	5	IT
Olsen	P	8,5	1:20	30	DK,FR, IT,ES, GB
Joret- Hébert	P, K		1:25	120	FR
AAC-EDTA	P,K,Mg	4,65	1:5/1:10	60	BE,FI, CH
AL	P,K,Mg	3,75	1:20	120/140	LT,SE, BE, HU, SI, IE, NL, RO,NO
CAL	P	4,1	1:20	120	DE,AT, BE
Mehlich 3	P,K,Ca, Mg, mikro- elemendid	2,5	1:10	5/10	EE,CZ, SK

^aKasutatud meetodite lühendid: DL – Egner-Riehm'i ehk topeltlaktaatmeetod, AAC-EDTA – happeline ammooniumatsetaat-triloon B meetod, AL – Egner-Riehm-Domingo ehk ammooniumlaktaat meetod, CAL – kaltsium-ammooniumlaktaat meetod

^bKasutatud riikide tähised: AT – Austria, BE – Belgia, CH – Sveits, CZ – Tsehhi, DE – Saksamaa, DK – Taani, EE – Eesti, ES – Hispaania, FI – Soome, FR – Prantsusmaa, GB – Inglismaa, HU – Ungari, IE – Iirimaa, IT – Itaalia, LT – Leedu, LV – Läti, NL – Holland, NO – Norra, PL – Poola, RO – Rumeenia, RU – Venemaa, SE – Rootsi, SI – Sloveenia, SK – Slovakkia, UA – Ukraina

^cKasutatakse ka muld:lahus suhet 1:50 ja 1:10 (Sissingh,1971)

^dEnne loksutamist inkubeerimine 22 tundi temperatuuril 20°C. Kasutatakse ka 120 minutilist loksutamist

lahused. Erandiks on laialt kasutatavatest Olseni meetod, mille puhul on tegemist aluselise lahusega (pH = 8,5). Kõrge pH-ga ekstarktsioonilahuseid kasutatakse ka AB-DTPA (7,6), AMBIC (8,0) ja Machigini (9,0) meetodites (Solantanpour, Workman, 1979; Manson, Roberts, 2000; GOCT 26205-91, 1992). Mineraalsete hapete kasutamist ekstraheerimisel põhjendatakse analüütilise otstarbekusega uurimistöõde algaastatel, kuigi kõige esimese P sisalduse analüüsi meetodi (Dyer) puhul kasutatakse 5% sidrunhappe lahust (tabel 2). Mitmete meetodite puhul kasutatakse orgaaniliste hapete sooli – atsetaate ja laktaate (AL, CAL ja DL meetodid) eesmärgiga viia ekstrakttsioon läbi looduslikele lähedastes risosfäärikeskkonna tingimustes. Aastatel 2006–2017 (Haney jt, 2006, 2010, 2017) väljatöötatud H3A meetodi puhul on otseseks eesmärgiks olnud kasutada ekstraheerimislahuse

Tabel 2. Euroopas kasutusel olevate P tarbe määramiseks kasutatavate ekstraheerimislahuste keemilised koostised

Meetod	Ekstraheerimislahuse koostis	Allikas
Dyer	Sidrunhape, 5%	Tunney jt, 1997
Kirsanov	HCl, 0,2M	ГОСТ P 54650-2011
Chirikov	CH ₃ COOH, 0,5M	ГОСТ 26204-91
DL	Ca-laktaat, 0,02M + HCl, 0,02M	Egner, Riehm, 1955
Bray P1	NH ₄ F, 0,03M + HCl, 0,025M	Renneson jt, 2016
Olsen	NaHCO ₃ , 0,5M	Olsen jt, 1954
Joret-Herbert	NH ₄ -oksalaat, 0,2M	Tunney jt, 1997
AAC-EDTA	NH ₄ -atsetaat, 0,5M + CH ₃ COOH, 0,5M + EDTA, 0,025M	Lakanen jt, 1971
AL	NH ₄ -laktaat, 0,1M + CH ₃ COOH, 0,4M	Egner jt, 1960
CAL	Ca-laktaat, 0,05M + Ca-atsetaat, 0,05M + CH ₃ COOH, 0,3M	Schüller, 1969
Mehlich 3	CH ₃ COOH, 0,2M + HNO ₃ , 0,013M + NH ₄ F, 0,015M NH ₄ NO ₃ , 0,25M + EDTA, 0,001M	Mehlich, 1984

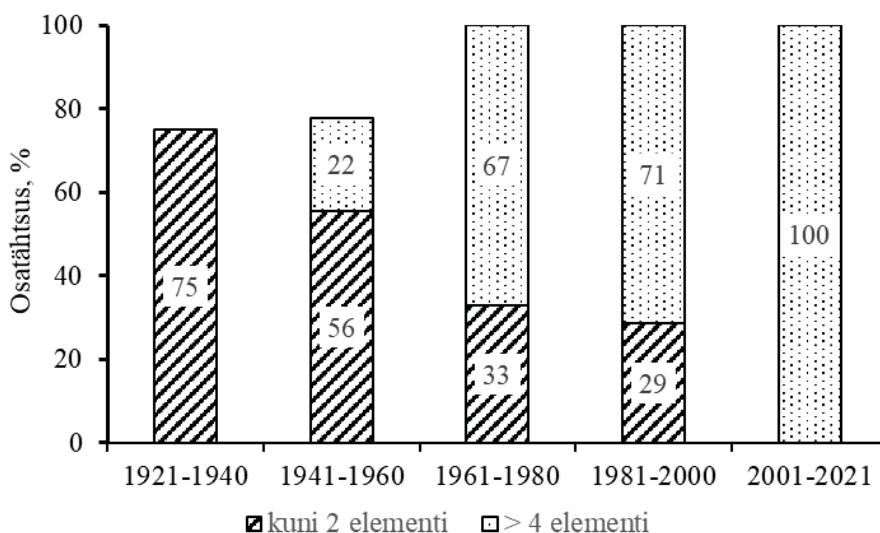
koostises ainult taime juurte poolt keskkonda eritavate happide – õun-, sidrun- ja oblikhapet. Samas on teada, et mõnede meetodite väljatöötamisel on lähtunud pigem analüüsi teostamise praktilistest aspektidest ning kasutatavad ekstraktioonitingimused pole kõige efektiivsemad (van der Paauw, 1971; Vanderdeelen, 2002). Mullast ekstraheeruv P kogus on sõltuvalt kasutatavast meetodist küll väga erinev, kuid jääb enamasti alla 15% (Barberis jt, 1996), tihti aga isegi alla 1% (Malboobi jt, 2015) kogu mullas olevast P-st.

Lisaks ekstraheeriva lahuse keemilisele koostisele, sõltub ekstraheeruva P kogus ka kasutatavast muld:lahus suhtest (Shahandeh jt, 2016; Amini jt, 2022). Mulla analüüsil kasutatakse väga erinevaid muld : lahus vahekordi alates suhtest 1 : 5 (AAC-EDTA (Lakanen jt, 1971) ja Joret-Hébert (Joret, Hébert, 1955) kuni 1 : 60 (H₂O (Sissingh, 1971)). Kui mulla suure suhtelise osakaalu korral ekstraheerimisprotsessis võib tulemustele mõju avaldada lahustunud aine kõrge kontsentratsioon, siis väga “lahjade” ekstraktiooni segude korral (1 : 60 ja 1 : 50, H₂O ja DL meetod, vastavalt) osutub võimatuks P sisalduse määramine madala P sisaldusega looduslike muldade puhul.

Erinevused meetodite vahel on ka ekstraheerimisprotsessi ehk loksutuse kestuses, mis võib olla 5 minutist (Bray P1, Mehlich 3) kuni mitme tunnini (AL) (tabel 2). Lahustunud aine ekstraktioon tahke faasi pinnalt on aeglane protsess.

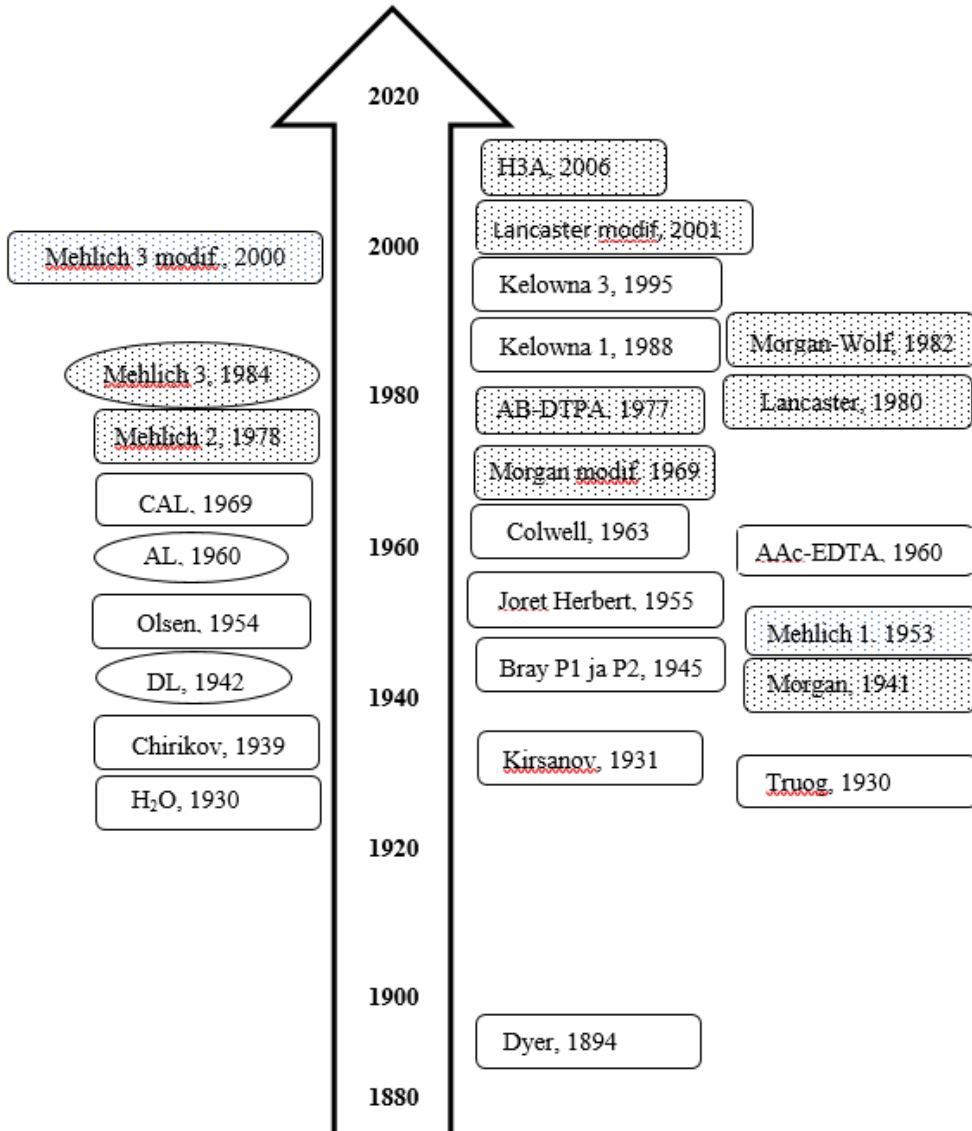
Erinevate uurimistööde tulemused näitavad, et tasakaalu saavutamiseks tahke aine pinnal adsorbeerunud ja vedelfaasis lahustunud aine vahel kulub vähemalt 30 minutit (Kowalenko, 2008), vahel ka rohkem. Sellest tulenevalt tuleb väga täpselt jälgida ekstraktsiooniprotsessi kestvust kõigi meetodite puhul, kus see on 30 minutit või vähem. Vastavalt kirjanduse andmeile on see probleemiks paljudes mulla analüüsiga tegelevais laboreis. Pikema loksutusperioodi jooksul saavutatakse lahustunud ja tahke aine vahel tasakaal ning mõne minutiline kõrvalekalle ei põhjusta viga määramistulemustes.

Mulla analüüsimeetodite arengu algaastail oli eesmärgiks leida iga taimetoitelemendi jaoks parim ekstraheeriv lahus ning seetõttu olid väljatöötatud meetodid ühe või kahe elemendi põhised (joonis 2). Teadmiste lisandudes osutus võimalikuks määrata ühest ja samast ekstraktist ka kolm või enam elementi. Kui veel 20–30 aastat tagasi oli valdavaks instrumentaalseks analüüsimeetodiks mulla ekstraktist P määramisel kolorimeetria, siis nüüd on analüüsitehnika arenedes muutunud massiliseks aatom-emissioonspektromeetria (ICP-OES) (Nõges jt, i.a). Tulenevalt selliste seadmete tehnilisest võimekusest ühe analüüsi käiguga määrata mitu elementi, siis on ka meetodite arendamisel sihiks mitme elemendi (lisaks makroelementidele ka mikroelemendid) määramiseks sobiva meetodi väljatöötamine. Kui enne II maailmasõda oli valdavaks kahe elemendi määramist võimaldavad meetodid, siis enne viimast sajandivahetust oli selliste uute meetodite osakaal langenud alla 30%. Esimene nelja elemendi määramist samast lahusest



Joonis 2. Kuni kahe- ja multielementsete mulla ekstraktsioonimeetodite osakaalu muutus viimase 100 aasta jooksul kasutusele võetud uute meetodite hulgas. Joonisel pole kujutatud kolme elementseid (P, K, Mg) analüüsimeetodeid (H₂O ja AL)

võimaldav Morgani meetod pärineb juba 1941. aastast (Morgan, 1941). Selliste multielementsete meetodite osakaal uute meetodite hulgas on alates sellest ajast pidevalt kasvanud (joonis 2, joonis 3).



Joonis 3. Valik maailmas enimkasutatavate ja perspektiivsete mullas sisalduva taimedele omastatava P määramismeetodite väljatöötamine ajateljel. Eestis kasutatud ja kasutusel olevad meetodid on ovaalides
Täpilise taustaga on märgitud multielementsed ekstraktsioonimeetodid

Eestis alustati meie tingimustesse sobivate meetodite otsimisega juba eelmise sajandi 20. aastatel ja selle töö tulemusel on muldade P sisalduse määramiseks erinevatel aegadel kasutatud kolme erinevat meetodit (joonis 3) (Nõges jt, i.a). Nõukogude perioodil olid kasutusel AL ja DL meetodid (Järvan, Vettik, 2016). Need meetodid sobivad samast ekstraktsioonilahusest P ja K määramiseks, AL meetodi puhul lisaks ka Mg sisalduse analüüsiks. Aastakümneid kestnud katsetöö tulemusena on neile välja töötatud ka Eesti oludele vastavad väetustarbe gradatsioonid. Alates 2004. aastast on ametlikult tunnustatud meetodiks Mehlich 3 (Järvan, Vettik, 2016), kuigi erinevatel põhjustel kasutatakse vähemal määral ka varemkasutatud AL meetodit (Fosforitarbe, 2019).

Kokkuvõte

Taimedele omastatava P sialduse määramiseks on viimase sajandi jooksul välja töötatud hulgaliselt erinevaid ekstraktsioonimeetodeid, mis erinevad omavahel ekstraheeriva lahuse ja ekstraheerimisprotsessi tingimuste poolest. Meetodite suur hulk tuleneb arendamise ajaloost, piirkondlikest teguritest (mulla füüsikaline ja keemiline koostis, kliima, kasvatatavad taimed). Vaatamata pingutustele universaalse ekstraktsiooni lahuse otsimisel ja määramismeetodi väljatöötamisel on praegu Euroopas kasutusel rohkem kui 10 erinevat meetodit. Tänapäeva arendustöö põhisuund on universaalse, mitmeid elemente koos ekstraheerida võimaldava ekstraktsioonilahuse väljatöötamisele. Sellise mulla ekstrakti analüüsimisel multielementse võimekusega analüsaatoriga (näiteks ICP) oleks võimalik vähendada mullaanalüüsi ajakulu ja maksumust. Samuti teeks see võimalikuks erinevate mullaanalüüsitude tulemuste võrdlemise, mis praegu kasutusel olevate erinevate meetodite puhul on ebatäpne või koguni võimatu. Kui arendustöö peamiseks eesmärgiks on keemilise analüüsi teostamine ja laboritöö lihtsustamine ning ka mullas toimuvate keemiliste protsesside uurimine, siis ei oleks sellise lahenduse leidmine ülearu keerukas. Kuna peamine eesmärk on aga kultuurtaimede suure ja kvaliteetse saagi kindlustamiseks vajaliku toitainete varu tagamine, siis tulenevalt väga erinevatest mulla keemilistest, füüsikalistest ja taimede füsioloogilistest omadustest ning kliimast, on sellise meetodi leidmine osutunud ülejõu käivaks.

Kasutatud kirjandus

- Amini, M., Antelo, J., Fiol, S., Rahnemaie, R. 2022. Estimation of phosphate extractability in flooded soils: Effect of solid-solution ratio and bicarbonate concentration. – *Chemosphere* 303(3), 135–188.
- Barberis, E., Marsan, F.A., Scalenghe, R., Lammers, A., Schwertmann, U., Edwards, A.C., Maguire, R., Wilson, M.J., Delgado, A., Torrent, J. 1996. European soils overfertilized with phosphorus: 1. Basic properties. – *Fertilizer Research* 45, pp

199–207.

- Beck, M.A., Sanchez, P.A. 1994. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a typic paleudult. – *Soil Science Society of America Journal*. 58, pp 1424–1431.
- Ducouso-Détrez, A., Fontaine, J., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Hijri, M. 2022. Diversity of Phosphate Chemical Forms in Soils and Their Contributions on Soil Microbial Community Structure Changes. – *Microorganisms* 10(3), pp 609.
- Egner, H., Riehm, H. 1955. Die Dobbellaktatmethode. – *Die Untersuchung von Boden* Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher-Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Methodenbuch I. (eds.) R. Thon, E. Hermann, E. Knikemann. Radebeul and Berlin.
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kalium-bestimmung. – *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26, pp 45–61.
- Fosforitarbe klassid. 2019. Maaeluministri määrus, Riigi Teataja I, 01.10.2019. <https://www.riigiteataja.ee/akt/101102019012> (12.02.2023)
- Furihata, T., Suzuki, M., Sakurai, H. 1992. Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. – *Plant and Cell Physiology* 33, pp 1151–1157.
- ГОСТ Р 54650-2011. 2013. НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПОЧВЫ Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINAО. Москва, 7 pp.
- ГОСТ 26204-91. 1992. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР ПОЧВЫ Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov method modified by CINAО. Москва, 6 pp.
- ГОСТ 26205-91. 1992. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР ПОЧВЫ Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAО. Москва, 8 pp.
- Haney, R.L., Haney, E.B., Hossner, L.R., Arnold, J.G. 2006. Development of a New Soil Extractant for Simultaneous Phosphorus, Ammonium, and Nitrate Analysis. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37(11–12), pp 1511–1523.
- Haney, R.L., Haney, E.B., Hossner, L.R., Arnold, J.G. 2010. Modifications to the new soil extractant H3A – a multi-nutrient extractant. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41 (12), pp 1513–1523.
- Haney, R.L., Haney, E.B., Smith, D.R., White, M.J. 2017. Removal of Lithium Citrate from H3A for Determination of Plant Available P. – *Open Journal of Soil Science* 07(11), 301–314.
- Harrison, A.F. 1987. Soil Organic Phosphorus – A Review of World Literature. Walling-

- ford, Oxon, 257 pp.
- Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. – *Plant and Soil* 237, pp 173–195.
- Joret, G., Hébert, J. 1955. Contribution à la détermination du besoin des sols en acide phosphorique. – *Annales Agronomiques* 2, pp 233–299.
- Järvan, M, Vettik, R. 2016. Toiteelementide dünaamika mullas sõltuvalt viljelusviisidest ja analüüsimeetoditest. – *Agraarteadus* 27(2), lk 55–64.
- Kamprath, E.J., Watson, M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. – *The role of phosphorus in agriculture*. (eds.) F.E Khasawneh, E.C. Sample, E.J. Kamprath. Wisconsin, pp 433–469.
- Kowalenko, C.G. 2008. Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. – *Canadian Journal of Soil Science* 88, pp 733–747.
- Lakanen, E., Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. – *Acta Agraria Fennica* 123, pp 223–232.
- Malboobi, M.A., Samaeian, A., Sabet, M.S., Lohrasebi, T. 2015. Plant phosphate nutrition and environmental challenges. – *Intech*, pp 1–33.
- Malboobi, M.A., Zamani, K., Lohrasebi, T., Sarikhani, M.Z., Samaian, A., Sabet, M.S. 2014. Phosphate: the silent challenge. – *Progress in Biological Sciences* 4(1), pp 1–32.
- Manson, A.D., Roberts, V.G. 2000. Analytical methods used by the soil fertility and analytical services section. KZN AGRI-REPORT No. N/A/2001/04. https://www.kzndard.gov.za/images/Documents/SOIL%20ANALYSIS/ANALYTICAL_METHODS_USED_BY_THE_SOIL_FERTILITY_AND_ANALYTICAL_SERVICES_SECTION.pdf (12.02.2023)
- Mattila, T.J., Rajala, J. 2021. Do different agronomic soil tests identify similar nutrient deficiencies? – *Soil Use and Management* 00, pp 1–14.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(12), pp 1409–1416.
- Morgan, M.F. 1941. Chemical soil diagnosis by the universal testing system. – *Connecticut Agricultural Experiment Station. Bulletin* 450, pp 579–628.
- Müller, T., Zhang, F. 2019. Adaptation of Chinese and German maize-based food-feed-energy systems to limited phosphate resources – a new Sino-German international research training group. – *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 6(4), pp 313–320.
- Nõges, M., Penu, P., Rebane, J. i.a. Eesti põllumuldade väetistarve ja selle analüüs. <https://www.pikk.ee/upload/files/Taimekasvatus/Eesti%20põllumuldade%20vaetistarve%20ja%20selle%20analüüs.pdf> (17.02.2023)
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with NaHCO₃. – *USDA Circular* 939. Washington, pp 1–19.
- Otani, T., Ae, N. 1996. Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. – *Soil Science and plant nutrition* 42 (11), pp 155–163.
- Raghothama, K.G. 1999. Phosphate acquisition. – *Annual Review of Plant Physiology*

- and *Plant Molecular Biology* 50, pp 665–693.
- Renneson, M., Barbieux, S., Colinet, G. 2016. Indicators of phosphorus status in soils: significance and relevance for crop soils in southern Belgium. A review. – *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement/ Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 20(S1), pp 257–272.
- Schlesinger, W. 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Elsevier, New York, 588 pp.
- Schüller, H. 1969. Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Boden. – *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 123, pp 48–63.
- Shahandeh, H., Hons, F.M., Provin, T.L., Pitt, J.L., Waskom, J.S. 2017. Factors Affecting Mehlich III Soil Test Methodology for Extractable P. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(4), pp 423–438.
- Sissingh, H.A. 1971. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in The Netherlands. – *Plant and Soil* 34, pp 483–486.
- Soltanpour, P.N., Workman, S. 1979. Modification of the NH_4HCO_3 -DTPA soil test to omit Carbon Black. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 10, pp 1411–1420.
- Syers, J.K., Luang, M.F., Johnston, A.E., Curtin, D. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. – *FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin* 18, Rome, 123 pp.
- Tunney, H., Breeuwsma, A., Withers, P.J.A., Ehlert, P.A.I. 1997. Phosphorus fertilizer strategies: present and future. – *Phosphorus Loss from Soil to Water*. (eds.) H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes, A.E. Johnston. Wallingford, pp 177–203.
- Vance, C.P., Uhde-Stone, C., Allan, D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. – *New Phytologist* 157 (3), pp 423–447.
- Wuenschel, 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* 6, pp 86–96.
- van der Paauw, F. 1971. An effective water extraction method for the determination of plant-available phosphorus. *Plant and Soil* 34, pp 467–481.
- Vanderdeelen, J. 2002. Environmental soil P-test in relation to solubilisation – Phosphorus losses from agricultural soils: Processes at the field scale. (eds.) W.J. Chardon, O.F. Schoumans. Wageningen, pp 73–81.
- Zhang, M., Li, C., Li, Y.C., Harris, W.G. 2014. Phosphate minerals and solubility in native and agricultural calcareous soils. – *Geoderma* 232–234, pp 164–171.
- Ziadi, N., Whalen, J.K., Messiga, A.J., Morel, C. 2013. Assessment and modeling of soil available phosphorus in sustainable cropping systems. – *Advances in Agronomy* 122, pp 85–126.

TAIMEKASVATUS

VARAJASE JA HILISE TALINISU SORDI SAAGI JA KASVUAJA VÕRDLUS TEMPERATUURI JA TALVEKAHJUSTUSE TAUSTAL

Triin Saue, Reine Koppel

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Saue, T., Koppel, R. 2023. Yield and growing time of an early and a late winter wheat variety based on temperature and wintering conditions. – Agronomy 2023.

Cultivation of winter crops has increased consistently over the years in Estonia. In 2022, 84.4% of wheat growing area was winter wheat. Wheat varieties differ in terms of yield, quality, agronomic characteristics as well as winter hardiness and growing time, the last ones being especially important in Nordic conditions. Growing degree-days (GDD) are increasingly used as an indicator for crop development. The objectives of this study were: to determine thermal time in GDD for ripening of an early and a late winter wheat variety in Estonian conditions; to enquire temperature constraints for the yield of given varieties. Daily and accumulated mean and maximum temperatures and GDD (> 5°C) together with dates of sowing, heading and ripening of early Ramiro and late Gunbo varieties were used. Crop was grown at the Estonian Crop Research Institute Jõgeva winter wheat trials in 2001–2022. Ramiro reached the heading state prevailingly in the first decade of June, while for Gunbo this occurred during the second decade of June. The maturity state was mostly reached in the second decade of July and the first decade of August, accordingly. Heading time has become earlier for Gunbo during trial period. Gunbo accumulated almost 100° more GDD over the growing period, while there was no difference in GDD between varieties from heading to ripening. Wheat yield had a strong relation with overwintering and reverse relation with protein and gluten. No clear correlation was detected between yield and heading /ripening/GDD. The number of days with maximum temperatures of 25 °C or higher between heading and maturity had a negative effect on yield. Yield of the early variety was positively affected by higher mean temperature over two weeks before heading. With future climate change, the expected higher temperatures during and between the crucial phenological phases can be of key importance in the development of yield and quality.

Keywords: winter wheat, agrometeorology, phenology, GDD

Sissejuhatus

Alates 2005. aastast on Eestis talinisu kasvupinnad hakanud järjepidevalt suurenema ning 2022. aastal registreeriti üle aegade suurim nisu kasvupind – 180 896 ha (Statistikaamet), millest talinisu moodustas 84,4%. Talinisu on oma pikema kasvuperioodi tõttu suvinisust suurema saagipotentsiaaliga, samas on selle kasvatamise üheks oluliseks riskiks talvekahjustused. Talinisu kasvatajatel on omakorda valida sortide vahel, mis erinevad nii saagi, kvaliteedi kui ka muude agronoomiliste omaduste poolest. Valides talvekindlamaid sorte võib talvekahjustuse risk küll väheneda, kuid saagipotentsiaal ei pruugi siiski realiseeruda muude keskkonnamõjude tõttu. Üheks sordivaliku kriteeriumiks võib olla ka sordi kasvuaeg. Varavalmivad talinisu sordid on põllumajandustootjale

eelviljana tähtis valik teatud külvikorra teostamisel, kui eelvili peab olema koristatud võimalikult vara, et uued külvid saaks teha õigeaegselt. Hilisemate talinisu sortide kasvatamine on suuremast saagipotentsiaalst hoolimata riskantne, sest Eesti kliimas suurenevad hilissuvel sademete võimalused ja see segab kvaliteetse vilja koristust. Kannatada võivad nii idanevus kui küpsetuskvaliteet.

Talinisu, sarnaselt teistele põllukultuuridele, reageerib paljudele keskkonnaparameetritele, millest üks olulisemaid on temperatuur (McMaster jt, 2012). Kuna taime areng on tihedalt seotud õhutemperatuuriga, kasutatakse erinevate kasvu- ja arengufaaside iseloomustamiseks sageli mitte nende faaside saavutamiseks vajaminevat päevade arvu, vaid selleks vajaminevat soojuste hulka ehk temperatuurisummat. Taimedele kättesaadav soojus, kasvuperioodi pikkus ja tähtsamate fenoloogiliste faaside ajal/vahel esinevad temperatuurid on olulised kultuurtaimede saake mõjutavad tegurid (Porter, Semenov, 2005; Peltonen-Sainio jt, 2009). Taimedele kättesaadava soojuste iseloomustamiseks kasutatakse sageli efektiivse temperatuuri mõistet. Efektiivseks temperatuuriks nimetatakse ööpäeva keskmist temperatuuri, millest on lahutatud lävitemperatuur. Kõige sagedamini kasutatakse lävitemperatuurina 5 °C, kuna üldiselt on selline meil traditsiooniliselt kasvatatavate kultuuride bioloogiline miinumtemperatuur. Efektiivset üle 5 °C temperatuuri nimetatakse ka taimedele kasulikuks temperatuuriks või füsioloogiliselt aktiivseks temperatuuriks. Erinevatel kultuuridel/sortidel on erinev energiavajadus mingisse arengufaasi jõudmiseks (Miller, Lanier, 2018). Nisu on sealjuures üks paremini temperatuurile kohastunud kultuure, mis suudab kasvada väga erinevates tingimustes. Nisu jaoks head teraviljasaagi aastad on Eestis pigem keskmisest pisut jahedamad (Põiklik, 1986). Jahe ilm soodustab võrsumist ja lisajuurte kasvu ning ka muud arengufaasid saavad läbitud mõõdukas tempos. Kõrgem temperatuur enne loomist viib arengut kiiresti edasi, taim assimileerib vähem süsivesikuid (tärglist) ja tekib suhteliselt rohkem valku ehk proteiini, sel juhul võib saagitase jääda madalaks.

Antud uurimustöö eesmärk oli:

1. Võrrelda kahe erineva kasvuajaga talinisu sordi loomise ja küpsuse saabumise aegu 22 aasta jooksul ning taimedele kättesaadavaid temperatuurisummasid nende kasvufaaside vahelisel ajal.
2. Analüüsida nende sortide saagi, proteiini- ja kleepevalgusisalduse sõltuvust temperatuurist.

Materjal ja meetodika

Käesolevas uuringus vaadeldi kahe erineva kasvuaja pikkusega talinisu sordi saagi suuruse ja kvaliteediga seotud andmeid perioodil 2001–2022 võrdlusena ööpäeva keskmiste, maksimaalsete ja efektiivsete temperatuuridega. Sort 'Ramiro'

oli Eestis kasvatusel alates 1995. aastast, kuid praegu seda Sordilehel enam ei ole. Samas on see olnud tootmises väga hinnatud kui kõige varem valmiv talinisu sort. 'Gunbo' oli Eesti Taimekasvatuse Instituudi (ETKI) kollekstioonsortidest kõige pikema kasvuajaga ning sellest hilisemad genotüübid eemaldatakse aretusprotsessist. Mõlemad sordid on suhteliselt hea talvekindlusega. 'Ramiro' on hea ja 'Gunbo' keskmise proteiinisaldusega (Koppel, 2009).

Nisu kasvatati ETKI Jõgeva sordiareture osakonna talinisu katsealal 9 m² lappidel kolmes korduses. Külv toimus puhitud seemnega septembri I või II dekaadil, talinisu sobival ajal (v.a sügis 2017, mil liigniiskuse tõttu oli võimalik külvata alles 23. septembril). Külvisenorm oli 400–500 idanevat tera ruutmeetrile. Lämmastikväetise tase oli kuni 2006. aastani ligi 120 kg ha⁻¹, 2007.–2010. a 140 ja alates 2011. a 170 kg ha⁻¹. Lämmastikväetis anti jaotatult kolmes osas. Pestitsiididest kasutati vaid herbitsiide. Katselapid koristati kombainiga 3–4 päeva peale täisküpsuse saavutamist.

Analüüsis kasutati külvi, loomise (BBCH skaala 55–57) ja vahaküpsuse (BBCH 87) alguse kuupäevi ja kevadise vegetatsiooniperioodi alguses hinnatud talvekahjustusi. Talvekahjud määrati 1–9 pallilisel skaalal, kus 1 pall tähistas talvekahjustuse puudumist ja 9 palli maksimaalset kahjustust, mil kõik taimed katselapil olid hävinenud. Saak (t ha⁻¹) arutati sorteeritud viljast (sõelad 2,2 mm) ja väljendati 14% niiskusesisalduse juures. Saagist määrati proteiini- ja kleepevalgu(gluteeni)sisaldus. Proteiinisaldus määrati NIR tehnoloogiaga.

Meteoroloogilistest andmetest kasutati ööpäeva keskmisi ja maksimaalseid õhutemperatuure Jõgeval, andmed on pärit Ilmateenistusest (Riigi Ilmateenistus). Algandmetest arutati vegetatsiooniperioodi taastumise kuupäev (päev, mil ööpäeva keskmine temperatuur tõuseb püsivalt üle 5 °C, langeb kokku klimatoloogilise kevade algusega), dekaadide keskmised temperatuurid nii kogu vaatlusperioodi kui erinevalt grupeeritud aastate kohta, efektiivsed (> 5 °C) temperatuurid ja nende summad erinevate perioodide kohta. Efektiivseks temperatuuriks nimetatakse ööpäeva keskmist temperatuuri, millest on lahutatud lävitemperatuur; antud töös kasutati lävitemperatuurina 5 °C. Kahe kasvufaasi vaheline efektiivsete temperatuuride summa (> 5 °C) leiti seega järgmiselt: kui uuritavasse perioodi jääva päeva ööpäeva keskmine õhutemperatuur oli suurem kui 5 °C, lahutati keskmisest õhutemperatuurist 5 °C. Summa leidmiseks liideti kõikide sellesse perioodi jäävate päevade need õhutemperatuuride osad, mis jäid alles pärast 5 °C lahutamist. Perioodi esimene päev jäeti arvutustest välja, viimane päev sisse. Näiteks kui loomine toimus 10. juunil ja küpsus saabus 12. augustil, liideti efektiivsed temperatuurid perioodil 11. juuni kuni 12. august. Kõrgete temperatuuride mõju hindamiseks loendati päevad, mil maksimaalne temperatuur on olnud 25 °C või kõrgem.

Tulemused

Kahe vaadeldud talinisu sordi keskmine saak, selle gluteeni- ja proteiini-sisaldus ei erinenud omavahel statistiliselt usutavalt (tabel 1). Samuti oli sortide talvekindlus sarnane. Saakides esines siiski suuri aastevahelisi kõikumisi, nii oli mõlema sordi maksimaalne saak poolteist korda suurem kui keskmine, samal ajal kui minimaalne saak oli umbes kolm korda keskmisest väiksem. Hilise sordi saak varieerus varajasest veidi rohkem, samas oli kvaliteedinäitajate varieeruvus hilisel sordil väiksem.

Tabel 1. Varajase ('Ramiro') ja hilise ('Gunbo') talinisu sordi saagi, kvaliteedi ja talvekahjustuse keskmised väärtused ja standardhälbed perioodil 2001–2022

Sort	Ramiro		Gunbo	
	Keskmine	STD	Keskmine	STD
Saak (t ha ⁻¹)	6,4	1,9	6,5	2,1
Proteiinisisaldus (%)	12,7	2,2	11,8	1,5
Gluteenisisaldus (%)	28,3	7,6	27,5	5,2
Talvekahjustus (palli*)	3,8	2,0	3,8	1,8

STD – standardhälve; *1 – 9 palli, kus 1 – talvekahjustust ei ole, 9 – maksimaalne talvekahjustus

Varajasel sordil saabus nii loomise kui küpsuse faas hilisest keskmiselt 9 päeva varem (tabel 2), kuid perioodi loomisest vahaküpsuseni läbisid mõlemad sordid sarnase kalendrilise ja termilise ajaga (temperatuurisummaga). Sellest tulenevalt kujunes hilisel sordil võrreldes varajasega usaldusväärselt pikemaks ka perioodide külv–loomine ja külv–vahaküpsus ajaline kestus, samuti erines sortide vahel neil perioodidel kogunenud efektiivsete temperatuuride summa. Teiselt poolt oli vaadeldud perioodil mõlema sordi loomise kuupäev nihkunud 6 päeva võrra varasemaks, kuid ainult hilise sordi puhul oli see muutus statistiliselt usaldusväärne. Selle tulemusel oli mõlema sordi jaoks lühenenud perioodide külv–loomine ja külv–vahaküpsus kestus. Statistiliselt mitteusaldatav lühenemise tendents esines ka päevade arvus vegetatsiooni algusest loomiseni ('Gunbo' puhul -5 päeva, $p = 0,09$; 'Ramiro' puhul -4 päeva, $p = 0,2$).

Varajasel sordil saabus loomine kõige sagedamini juuni I dekaadis, hilisel sordil juuni II dekaadis (tabel 3). Vahaküpsuseni jõudis varajane sort kõige sagedamini juuli II dekaadis, hiline sort augusti I dekaadis. Nagu võis eeldada, on arengufaasi keskmisest varasem või hilisem saabumine seostatav kumulatiivse temperatuurisummaga – faas saabub varem, kui selleks vajalik soojussumma täitub varem. Loomise faasi varasust või hilisust saab mõnikord seostada ka dekaadi keskmise õhutemperatuuriga, vahaküpsuse puhul see näitaja pigem ei anna lisainformatsiooni.

Tabel 2. Loomise ja vahaküpsuse faaside saabumise kuupäevad, faasidevaheliste perioodide pikkus ja neil perioodidel kogunenud efektiivne (üle 5 °C) temperatuurisumma varajase sordi 'Ramiro' ja hilise sordi 'Gunbo' jaoks aastatel 2001–2022 andmete põhjal

Kasvufaas/periood		'Ramiro'		'Gunbo'	
		Keskmine	Vahemik	Keskmine	Vahemik
Loomine		7.06	30.05–23.06	16.06-6 ⁻⁶	6.06–5.07
Vahaküpsus		26.07	15.07–9.08	4.08	20.07–23.08
Külv–loomine	Päevade arv**	270 ⁻⁸	252–284	279 ⁻⁶	259–296
	Temperatuurisumma**	492	406–604	585	489–693
Kevad–loomine	Päevade arv**	52	39–68	62	49–80
	Temperatuurisumma**	303	235–401	398	316–502
Loomine–vahaküpsus	Päevade arv	49	36–60	49	34–61
	Temperatuurisumma	573	493–645	594	496–670
Külv–vahaküpsus	Päevade arv**	318 ⁻⁵	300–333	328 ⁻⁵	304–347
	Temperatuurisumma**	1061	979–1249	1177	1081–1260

** tähistab näitajat, mille puhul sortide vahel esineb statistiliselt usaldusväärne erinevus tasemel $p < 0,01$;

⁻ⁿ tähistab näitajat, millel esineb usaldusväärne positiivne ajaline trend tasemel $p < 0,05$

Tabel 3. Loomise ja küpsuse saabumise aeg varajasel talinisu sordil ‘Ramiro’ ja hilisel sordil ‘Gunbo’ perioodil 2001–2022 esitatuna dekaadide kaupa ja samade dekaadide keskmised temperatuurinäitajad loendatud aastatel

		‘Ramiro’			‘Gunbo’			Perioodi 2001–2022 keskmine	
Kasvufaas	Kuu ja dekaad	Aastate arv	Keskmine temperatuur	Kumuleeruv efektiivne temperatuurisumma	Aastate arv	Keskmine temperatuur	Kumuleeruv efektiivne temperatuurisumma	Dekaadi keskmine temperatuur	Keskmine kumuleeruv efektiivne temperatuurisumma alates aprillist
Loomine	Mai III	1	13,1	357				13,0	270
	Juuni I	16	15,3	375	5	15,2	445	14,4	364
	Juuni II	4	15,2	406	11	15,4	459	15,0	465
	Juuni III	1	14,1	495	5	17,5	534	16,3	577
	Juuli I				1	16,8	612	17,5	701
Vahaküpsus	Juuli II	4	20,2	960	1	22,0	974	17,9	830
	Juuli III	13	18,6	988	6	19,4	1091	18,6	967
	August I	5	17,5	986	9	17,5	1095	17,5	1104
	August II				5	17,0	1068	16,7	1221
	August III				1	17,2	1254	15,0	1322

Saagil esines negatiivne usaldatav ($p < 0,01$) statistiline seos nii proteiini- kui gluteenisisaldusega (tabel 4), sealjuures oli ‘Ramiro’ gluteenisisaldus saagiga tugevamini seotud, proteiini puhul oli sortide reaktsioon küllalt sarnane. Proteiini- ja gluteenisisaldus omakorda suurenesid seoses halva talvitumisega, positiivne seos esines neil kvaliteedinäitajatel loomisest vahaküpsuseni summeeritud efektiivsete temperatuuridega.

Saagi tugev ja usaldusväärne ($p < 0,01$) seos kevadel määratud talvitumiskahjudega oli tugevam hilisema sordi puhul. Saagil ei leitud statistiliselt usaldusväärset seost loomise/küpsuse kuupäeva ega nendevahelise perioodi pikkusega. Ei tuvastatud ka üheseid selgeid seoseid pikemate perioodide keskmiste või summeeritud temperatuurinäitajatega. Tuli esile negatiivne seos saagi ja üle 25 kraadise maksimaalse temperatuuriga päevade arvu vahel loomisest vahaküpsuseni. Välja saab tuua kevadise temperatuuri olulisuse – varajase sordi puhul esines saagil positiivne korrelatsioon keskmise temperatuuriga perioodil 2 nädalat enne loomist.

Tabel 4. Varajase talinisu sordi 'Ramiro' ja hilise sordi 'Gunbo' saagi ja valmimisaja seos erinevate näitajatega perioodil 2001–2022

		'Ramiro'	'Gunbo'	2 sorti koos
Saak	Proteiin/gluteen	-0,56**/ -0,65**	-0,58**/ -0,56**	-0,55**/ -0,60**
	Keskmine temperatuur 2 nädalat enne loomist	0,39*	-0,04	0,14
	Päevade arv maksimaalse temperatuuriga 25°C ja rohkem loomisest vahaküpsuseni	-0,18	-0,32	-0,25*
	Talvitumine	0,58*	0,61**	0,60**
Proteiin/ gluteen	Efektiivsete temperatuuride summa loomisest vahaküpsuseni	0,43*/ 0,36*	0,35/ 0,32	0,33*/ 0,32*
	Talvitumine	0,61**/ 0,57**	0,45*/ 0,43*	0,53**/ 0,51**
Valmimisaeg	Efektiivsete temperatuuride summa aprillist augusti lõpuni	-0,79**	-0,83**	-0,70**
	Efektiivsete temperatuuride summa aprillist juuli lõpuni	-0,76**	-0,83**	-0,68**

* seos on usaldusväärne tasemel $p < 0,05$, ** seos on usaldusväärne erinevus tasemel $p < 0,01$

Varajasel sordil esines tugev seos valmimise kuupäeva ja kasvuperioodi efektiivsete temperatuuride summa vahel. Seos oli kõige tugevam, kui vaadati temperatuurisummat aprillist augusti lõpuni, kuid ka periood aprill–juuli andis tugeva seose.

Arutelu

Muutuva kliima tingimustes võivad nisu tähtsaimate fenoloogiliste faaside saabumise aegsed temperatuurid olla saagi ja kvaliteedi kujunemisel võtmetähtsusega. Põllukultuuride fenoloogia ehk taime elutsükli jooksul toimuvate muutuste ja neid mõjutavate keskkonnatingimuste kirjeldamine on muuhulgas oluline

komponent, hindamaks kultuuride ja sortide sobimist ja/või kohanemist mingi asukoha tingimustega.

Eestis ei ole talinisu uuemate sortide jaoks kasvufaaside vaheliste temperatuurisummade uurimusi avaldatud. Üle 60 aasta tagasi väljaantud teabevihikus agronoomidele (Martin, 1961) viidatakse, et efektiivsete temperatuuride summa, arvutatuna teraviljakultuuride faasidevahelise kasvava summana, on peaaegu muutumatu ja talirukki jaoks on see vahemikus 600–615 °C (talinisu kohta andmeid ei ole). See väide sai kinnitust ka meie tulemustest, mis ei andnud varajase ja hilise sordi jaoks usaldusväärset erinevust; ka temperatuurisummad ei jää väga kaugele meie poolt talinisu kohta saadud keskmistest väärtustest. See tähendab, et kaasaegsed sordid ei erine oma loomise-küpsuse vahelise soojusvajaduse poolest oluliselt poole sajandi tagustest. Küll aga tuli meie analüüsist välja, et külvist kuni loomiseni vajatav temperatuurisumma on genotüübiti (sorditi) erinev. Seega peaks taliviljade sortide valikul pöörama tähelepanu just nende vastupidavusele enne loomise faasi esinevatele stressitingimustele, sh talvitumise ajal. Meie uuritud hiline sort vajab loomise faasini jõudmiseks varajasest rohkem aega ja soojust ja oli seega kevadiste ilmastikutingimuste poolt rohkem mõjutatud.

Mõlema vaadeldud sordi loomise kuupäeval esines trendi järgi negatiivne muut (loomise kuupäeva nihkumine varasemaks), seos oli statistiliselt usaldusväärne hilisemal sordil. Kasvufaasi varasemaks nihkumine on Eesti talvise ja kevadise üldise soojenemise (Jaagus, Sepp, 2016) ja vegetatsiooniperioodi varasema alguse (Saue, 2020) taustal oodatav tulemus. Samas, meie uuringuperioodil (2001–2022) ei esinenud Jõgeval kevade alguse kuupäevas ajalist trendi, kuna aastatevaheline erinevus on olnud küllalt suur. Lühenemise tendents päevade arvus vegetatsiooni algusest loomiseni lubab spekuloida, et loomise kuupäeva varasemaks nihkumine tulenes mitte ainult vegetatsiooni varasemast algusest, vaid ka muutunud kevadistest soojustingimustest peale kasvuperioodi algust. Näiteks oli 2-nädalasel loomisele eelneval perioodil keskmine temperatuur tõusnud trendi järgi 0,5 kraadi võrra ($p < 0,05$).

Kliimamuutustega seoses tuuakse mõnikord välja, et meie laiuskraadil võiks mõõdukas soojenemine tuua taimikasvatuse jaoks kaasa teatud positiivseid arenguid. Kuna meil on just lühike kasvuperiood ja sellest tulenev madal soojussumma sageli kultuuride saagikust pärssivaks teguriks, siis võiks ilmastiku soojenedes näiteks hilisemate sortide suurem saagipotentsiaal paremini realiseeruda. Meie uuringus varajase sordi saagi jaoks leitud positiivne korrelatsioon keskmise temperatuuriga perioodil 2 nädalat enne loomist võimaldab tõepoolest viidata, et hiline ja/või külm kevad mõjub talinisu saakide kujunemisele pärssivalt ja see piirang peaks kevadiste olude varasemaks/soojemaks muutudes leevenema. Hilisem sort 10 päeva hilisema loomisega ongi juba liiga madala

temperatuuri mõju alt väljas. Varasemalt on siiski näidatud, et kui põllukultuuri temperatuurioptimum isegi lühiajaliselt ületatakse, siis saagikus langeb (Porter, Gawith, 1999), sh Põhjamaades (Peltonen-Sainio jt, 2010; 2011a; Kristensen jt, 2011). Meie uuringus tuli see tendents tugevamalt välja 'Gunbo' puhul. Hetkel ei ole võimalik välja tuua, kas 'Ramiro' suurem vastupidavus kõrgetele (üle 25 °C) temperatuuridele on sellele sordile omane tunnus või tuleneb sordi varajasusest, mis võimaldab kriitilised arengufaasid läbida enne kõige kuumemate ilmade saabumist. Kirjanduses on viidatud, et eriti kahjulik on taimedele kõrge temperatuur, kui see püsib pikema aja vältel (kuumalained) (Ingvordsen jt, 2015, Peltonen-Sainio jt, 2011a). Käesolevast uuringust jäi see teema küll välja, kuid vajab kindlasti täiendavalt uurimist, kuna Eestis on igasuvised kuumalained muutunud järjest sagedasemaks ja intensiivsemaks (Sepp, 2022) sh ka Jõgeval (Saue, Kärp, 2022) ja see tendents ilmselt jätkub ka kliima edaspidisel soojenemisel.

Käesolevas töös ei õnnestunud leida usaldusväärseid lineaarseid seoseid talinisu saagi ja kasvufaaside vaheliste efektiivsete temperatuurisummade vahel. Ka Aruksaar (1964) tõi välja temperatuurisummade kasutamise puudused, milleks on näiteks taimede arenemiskiiruse sõltuvuse kõverjoonelisus (mittelineaarsus). Samal ajal esines väga tugev korrelatsioon temperatuurisumma ja talinisu vahaküpsuse saabumise kuupäeva vahel. See viitab, et temperatuur mõjutab küll oluliselt talinisu arengut, kuid saagi kujunemisel tulevad arvesse ka muud tegurid.

Saagi ja proteiinisalduse vaheline negatiivne korrelatsioon on teada paljudest varasematest uuringutulemustest (Laidig jt, 2017; Styczen jt, 2020). Paljudel juhtudel on uuritud genotüüpide saagi ja kvaliteedi vahelist seost, meie töös tuli negatiivne korrelatsioon välja ka üksiku sordi aegreas. Proteiinisalduse seos talvitumisega võis meie katses olla tingitud olukorrast, kus halva talvitumise tulemusena jäi taimede arv pindalaühikul väiksemaks kui tavaliselt. Katse meetodika kohaselt oli igal aastal antud katselappidele sarnane kogus lämmastikväetist ning väiksema taimede koguse korral oli selle toitainete kasutamine taime kohta suurem. Lämmastik on proteiinisalduse tõstmiseks üks võtmekomponente.

Leitud tugev seos saakide ja talvitustingimuste vahel kinnitas, et talvekindlus on meie kliimas jätkuvalt sordiaretuse võtmesõna, tähtis on ka sortide võimekus stressist taastuda. Soojemad ja lühemad talved võiksid olla talikultuuridele soodsamad, samas jäävad haudumine ja vettimine lumiste talvede korral endiselt arvestatavaks talvitumiseriskiks. On ka võimalik, et kliima soojenemisel muutuvad talvised tingimused taliviljade edukaks kasvatamiseks kõigepealt liiga varieeruvaks, enne kui jätkuval soojenemisel taas paranevad. Meie piirkonda prognoositavas soojemas kliimas (Jaagus, Mändla, 2014) esineb tüüpilise talve jooksul senisest sagedamini nii sooja- kui külmaperioode, sagenevad külma-sula perioodid ja nullilähedased temperatuurid, mil öösel külmetab ja päeval sulatab.

Selline tingimuste kõikumine raskendab viljade talvitumist ja hoopis suurendab talvekahjustusi (Peltonen-Sainio jt 2011b).

Kokkuvõte

Kuna taliviljade pind on Eestis aastate jooksul järjepidevalt kasvanud, on vajalik süvendatult uurida erinevate sortide saagi ja kvaliteedi potentsiaali realiseerumiseks vajalikke tingimusi.

‘Ramiro’ jõudis vaadeldud perioodil (2001–2022) külvist küpsuseni keskmiselt 318 päeva ja 1061 efektiivse, üle > 5 °C summeeritud temperatuuri kraadiga; ‘Gunbol’ kulus keskmiselt 10 päeva ja ligi 100 kraadi rohkem. Periood loomisest küpsuseni ehk tera moodustumise ja täitumise periood oli kahe erineva kasvuajaga sordil sarnane, mõlemad vajasid keskmiselt 49 päeva ja vastavalt 573 ja 594 kraadi.

Varajane sort jõudis enamusel aastatel loomise faasi juuni I dekaadis, hiline juuni II dekaadi lõpus. Vahaküpsusesse jõudis varajane sort enamusel aastatel juuli II dekaadis, hiline sort augusti I dekaadis.

Selget seost saagi suuruse ja loomise ning küpsuse saabumise kuupäevade vahel ei olnud. Saagile avaldas negatiivset mõju 25 °C ja kõrgema temperatuuriga päevade arv loomisest–vahaküpsuseni; varajase sordi saagile avaldas positiivset mõju kaks nädalat enne loomist esinev keskmisest kõrgem õhutemperatuur.

Hilise sordi loomise kuupäev on 22-aastase vaatlusperioodi jooksul nihkunud trendi järgi 6 päeva võrra varasemaks. Sama suur nihe oli toimunud varajase sordi andmetes, kuid see ei ole statistiliselt usaldusväärne. Samuti esines, kuid jäi alla usaldusväärse piiri, muutus päevade arvus vegetatsiooni algusest loomiseni.

Saagil oli tugev negatiivne seos talvekahjustuse suuruse ning proteiini- ja kleepevalgusisaldusega.

Kasutatud kirjandus

- Aruksaar, H. 1964. Meteoroloogiliste elementide tähtsus põllumajanduses. – Üld- ja agrometeoroloogia. (koost.) K. Põiklik. Tallinn, lk 349–401.
- Ingvordsen, C.H., Lyngkjær, M.F., Peltonen-Sainio, P., Mikkelsen, T.N., Bagger Jørgensen, R. 2015. A 10-days heatwave around flowering superimposed on climate change conditions significantly affects production of 22 barley accessions. – *Proceedia Environmental Sciences* 29, pp160–161.
- Jaagus, J., Mändla, K. 2014. Climate change scenarios for Estonia based on climate models from the IPCC Fourth Assessment Report. – *Estonian Journal of Earth Sciences* 63, pp 166–180.
- Jaagus, J., Sepp, M. 2016. Eesti kliima trendid ja režiimihked. (toim.) P. Post, A. Järvet, E. Tammiksaar. Tartu Ülikooli Ilmade Observatooriumi 150. aastapäeva konverentside artiklid. Tartu Ülikooli Kirjastus. *Publicationes Geophysicales Universitatis*

- Tartuensis 51, lk 88–100.
- Koppel, R. 2009. Talitritikale katsetulemusi Jõgeva SAI-s. Põllukultuuride sordid, omadused ja soovitusi kasvatamiseks. – Aastaseminar 2009, lk 26–29.
- Kristensen, K., Schelde, K. Olesen, J.E. 2011. Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. – *The Journal of Agricultural Science* 149, pp 33–47.
- Laidig, F., Piepho, H.-P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., Huesken, A. 2017. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. – *Theoretical and Applied Genetic*, 130(1), pp 223–245.
- Martin, K. 1961. Agrometeoroloogia ja põllumajandus. Tallinn, 35 lk.
- Mc Master, G.S., Green, T.R., Erskine, R.H., Edmunds, D., Ascough II, J.C. 2012. Spatial interrelationships between wheat phenology, thermal time and terrain attributes. – *Agron. J.* 104 (4), pp 1110–1121.
- Miller, P., Lanier, W. 2018. Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages. – A Self-Learning Resource From MSU Extension. Montana State university.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K., Ojanen, K. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. – *Agricultural and Food Science* 18, pp 171–190.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., Calanca, P.L., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kumar, S., Marta, A.D., Micale, F., Schaap, B., Seguin, B., Skjelvåg, A.O., Orlandini, S. 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, pp 483–489.
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen, L., Hakala, K. 2011a. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multilocation trials at high-latitude conditions. – *Journal of Agricultural Sciences* 149, pp 49–62.
- Peltonen-Sainio, P., Hakala, K., Jauhiainen, L. 2011b. Climate-induced overwintering challenges for wheat and rye in northern agriculture. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Sciences* 61, pp 75–83.
- Porter, J.R., Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. – *European Journal of Agronomy* 10, pp 23–36.
- Porter, J.R., Semenov, M.A. 2005. Crop responses to climatic variability. – *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 360, pp 2021–2035.
- Riigi Ilmateenistus. <http://www.ilmateenistus.ee> (13.01.2023)
- Saue, T., Jauhiainen, L., Kadaja, J., Peltonen-Sainio, P. 2016. Projected lengthening of spring cereals growing season in Estonia and accompanying high impact events of elevated temperatures around heading. 1st Baltic Earth Conference Proceedings, 9: (ed.) M. Röckermann, S. Köppen. International Baltic Earth Secretariat Publications, pp 126–127.
- Saue, T. 2020. Soojustingimuste muutumise võimalik mõju põllukultuuride kasvatamisele Eestis – tendentsid, võimalused ja väljakutsed. – *Agronomia* 2020, lk 294–303.

- Saue, T., Kärp, M. 2022. Projekti „Agrometeoroloogilised prognoosid ja kokkuvõtted” 2022 aasta vahearuanne.
Statistikaamet, <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/pollumajandus>
- Styczen, M.E., Abrahamsen, P., Hansen, S., Knudsen, L., 2020. Analysis of the significant drop in protein content in Danish grain crops from 1990–2015 based on N-response in fertilizer trials. – *European Journal of Agronomy*, 115, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126013>.
- Sepp, M. 2022. Suvised äärmustemperatuurid: kas üha sagedasem nähtus? – *Eesti Loodus* 73 (8), lk 624–627.

ILMASTIKU MÕJU TALINISU SORTIDE MORFOLOOGILISTELE TUNNUSTELE JA TALINISU SAAGIKUSELE

Merlin Haljak, Reine Koppel, Anne Ingver

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Haljak, M., Koppel, R., Ingver, A. 2023. Effect of weather on the morphological characteristics of winter wheat and the yield of winter wheat. – Agronomy 2023.

The study (2021–2022) evaluated morphological characteristics, grain yield and growth period of ten winter wheat varieties. The purpose of this work was to investigate how the weather conditions of different growing years affected the morphological characteristics of winter wheat, the grain yield and length of the growing period. The following characteristics were described: the frequency of plants with recurved flag leaves, the glaucosity of the flag leaf sheath, the glaucosity of the culm neck, the ear glaucosity, ear shape profile, awns or scurs at the tip of the ear, ear density and the ear colour. Data were analysed by multifactorial analysis of variance. The main factor influencing all the characteristics was variety. The weather conditions were affected the glaucosity of the sheath of flag leaf, the glaucosity of the culm neck, the ear glaucosity, grain yield and the length of the growing period. Varieties Ramiro, Edvins had the most strongly curved flag leaves. Varieties Ada, Skagen, Perenaise and Emil were upright leaves. Fredis had the weakest glaucosity and the varieties Perenaise. Ruske and Balitus had the strongest glaucosity. The tapered head shape had varieties Skagen, Fredis, Edvins and Emil, other varieties had a parallel-sided shape in profile. The majority of the varieties had medium ear density. Varieties Edvins and Fredis had awns, other had scurs of tip of the head. Ruske was the only variety which had coloured heads. The earliest heading time had the varieties Fredis, Ramiro and Balitus, the biggest grain yield had varieties Etana and Skagen.

Keywords: winter wheat, morphological characteristics, weather, yield

Sissejuhatus

Nisu on üks kõige enam kasvatatav ja tarbitav toiduteravili maailmas. Statistikaameti andmetel kasvatati 2022. aastal Eestis teravilja 361 734 ha, millest talinisu pinnad moodustasid 42% (Statistikaamet). Aasta-aastalt on Eestis talinisu kasvupind suurenenud.

Sordiaretuse käigus on sortidel välja kujunenud kindlad morfoloogilised tunnused, mis on iseloomulikud ühele kindlale sordile ja mille järgi saab aretatud sorte üksteisest eristada. Samas on mitmeid morfoloogilisi tunnuseid, mille esinemistugevust mõjutab suuremal või vähemal määral ilmastik.

Üks tunnus, mida ilmastik sageli mõjutab on glaukosiidsus. Glaukosiidsus on hallikassinine vahajas kirme ja see kaitseb taimi väliste keskkonna tegurite eest. Glaukosiidsuse tugevus võib sõltuda väga palju ka keskkonnast. Richards jt (1986) on leidnud, et tugevamalt glaukosiidsetel sortidel on põuastes tingimustes suurem veekasutuse efektiivsus. Põuasemal aastal on see tunnus tugevamini

väljendunud. Pauk jt (2009) uuringutest on selgunud, et glaukosiidsed sordid on põuakindlamad. Ka teistele nisu olulistele omadustele, nagu saagikus ja kasvu-aeg, on oluline mõju sellistel keskkonnafaktoritel nagu sademed ja õhutemperatuur.

Käesoleva töö eesmärk oli uurida kuidas mõjutasid erinevate kasvuaastate ilmastikutingimused talinisu morfoloogilisi tunnuseid ning saagikust ja kasvuaja pikkust.

Materjal ja meetodika

Eesti Taimikasvatuse Instituudi Jõgeva põldkatses olid vaatluse all järgmised talinisu sordid: 'Ada', 'Skagen', 'Fredis', 'Edvins', 'Perenaise', 'KWS Emil', 'Ramiro', 'Etana', 'Balitus' ja 'Ruske'. Katse rajati kolmes korduses 9 m² suurustele katselappidele. Külviaeg jäi septembri esimese kümne päeva sisse. Põldhindamised ja vaatlused tehti aastatel 2021–2022. Põllul hinnati järgmisi morfoloogilisi tunnuseid: kooldunud lipulehtedega taimede osatähtsus, lipulehe lehetupe, pea ja kõrrekaela glaukosiidsus, pea kuju profiilis, pea värvus ning ohete ja oga-teravike pikkus. Põllul määrati ka vaadeldud sortidel loomise ja küpsuse arengufaaside saabumise aeg päevades. Katse koristati täisküpsuse alguses ja laboris kaaluti kuivatatud ning sorteeritud talinisu terasaak.

Morfoloogiliste tunnuste hindamisel kasutati Ühenduse Sordiameti (Community Plant Variety Office) meetodilist juhendit (CPVO, 2011). Tunnuseid hinnati valdavalt 9-pallilise skaala järgi, kus 1 oli nõrgim ja 9 tugevaim tunnuse esinemisaste. Tunnuste võrdlemisel kasutati CPVO juhendiga määratud näitesorte. Iga morfoloogilise tunnuse määramiseks on ette antud vastav kasvufaas. Aastast 1979 kasutatakse teraviljade fenoloogiliste arengustaadiumite ehk kasvufaaside (kf) kindlaks määramiseks Euroopa Sordiaretajate Assotsiatsiooni (EUCARPIA) poolt avaldatud skaalat ehk numbrilist vahemikku 1–100 (MES nõuandeteenistus).

Kooldunud lipulehtedega taimede osatähtsust hinnati põllul enne loomist (kf 48). Hiljem, kui taimik on juba loonud, on seda tunnust keeruline määrata. Kooldunud lipulehtedega taimede osatähtsus võib olla väga väike (lehed on püstised), väike (1/4 on katselapil olevatest taimede lehtedest kooldunud), keskmine (1/2 lehtedest on kooldunud), suur (3/4 on lehtedest kooldunud) ja väga suur (100% lehtedest kooldunud) (CPVO, 2011).

Lehetupe glaukosiidsuse vaatlused tehti põllul veidi enne täisõitsemist (kf 63) ning kõrrekaela ja pea glaukosiidsust hinnati veidi enne õitsemise lõppu (kf 67).

Pea tiheduse määramised viidi läbi vahaküpsuse alguses (kf 80). Ühenduse Sordiameti meetodika järgi kasutatakse sortidel pea tiheduse hindamiseks etteantud näitesorte. Pea tihedus oleneb peatelje lülide pikkusest, nisul väljendatakse

seada peatelje lülid või pähkute arvuga peatelje 10 cm kohta, mis on pea tiheduse indeksiks (Annus, 1974).

Ohete ja ogateravike pikkust pea tipus hinnati vahaküpsuse alguses (kf 80). Üldjuhul on meie tingimustes tegemist nisu ohtetute vormidega ehk sordid on ogajätketega. Samas on märgata, et aasta-aastalt on hakanud sortide valikusse lisanduma ka ohtelisi vorme.

Pea värvuse hindamised tehti täisküpsuses (kf 90). Enamus kasvatatavaid sorte on valgepealised, kuid viimastel aastatel on lisandunud ka värvunud ehk pruunipealisi sorte.

Ilmastik oli katseaastatel üsna sarnane (tabel 1). 2021. aasta vegetatsiooni-perioodi algus oli külm ja sademeterohke. Juunis ja juulis olid õhutemperatuurid kõrged ja sademeid vähe. Kui 2021. aastal algasid kuumad ilmad juba juuni alguses, siis 2022. aastal lükkus kuumaperioodi algus juuni lõppu. Seevastu august kujunes 2021. aastal oluliselt vihmasemaks ja jahedamaks kui 2022. aastal. 2021. aastal oli perioodil aprill–august aktiivsete temperatuuride summa 1928 °C ning 2022. aastal 1762 °C. Sademete kasvav summa samal perioodil oli 2021. aastal 260 mm ja 2022. aastal 249 mm.

Tabel 1. Keskmised temperatuurid ja sademete summad aprillist augustini aastatel 2021–2022 võrreldes kliimanormiga (1922–2020)

Kuu	Keskmise õhutemperatuur, °C			Sademete summa, mm		
	2021	2022	*norm	2021	2022	*norm
Aprill	4,7	3,8	4,4	14,8	33,5	36,2
Mai	10,4	9,7	10,7	87,7	55,4	48,4
Juuni	19,0	16,9	14,9	11,0	47,3	69,4
Juuli	21,1	17,4	16,9	41,5	49,9	77,9
August	15,3	18,9	15,5	104,5	63,0	88,6

*kliimanorm

Katseandmed töödeldi mitmefaktorilise dispersioonanalüüsiga andmetöötlusprogrammi AGROBASE II abil. Leiti piirdiferents morfoloogilistele tunnustele ($PD_{0,05}$) ja aastate võrdlusele ($PD_{0,05}$). Faktoranalüüsiga leiti aasta ja sordi mõju ning aasta ja sordi koosmõju hälvete ruutude summa, mille põhjal arvutati determinatsiooni indeksi kaudu erinevate faktorite osatähtsus erinevatele omadustele. Determinatsiooni indeks leiti faktori hälvete ruutude summa protsentuaalse osana üldisest hälvete ruutude summast. Variatsioonikoefitsient (CV) arvutati valemiga $CV = \text{standardhälve/keskmise} \times 100$.

Tulemused ja arutelu

Kooldunud lipulehtedega taimede osatähtsus. Mõlemal katseaastal olid kõik lipulehed kooldunud (9 palli) sortidel 'Ramiro' ja 'Edvins'. Enamus lipulehtedest olid püstised (1–2 palli) sortidel 'Ada', 'Skagen', 'Perenaise' ja 'KWS Emil'. Sortidel 'Fredis', 'Balitus' ja 'Etana' oli kooldumise osatähtsus väike (3 palli) ja sordil 'Ruske' oli see väike kuni keskmine (4,7 palli). Selle morfoloogilise tunnuse esinemist mõjutas suurimal määral sort (tabel 2). See on kindel sordiomane tunnus, mille esinemist ilmastik ei mõjuta. Hinnatud sortidest esines varieeruvus ainult sordil 'Ruske', mille variatsioonikoefitsient (CV) oli 11,1%, teised sordid olid ühtlased selle tunnuse osas. Selle tunnuse osas hinnatud sortidel aastate vahel erinevusi ei olnud.

Lipulehe lehetupe, kõrrekaela ja pea glaukosiidsus. Talinisu sortidest oli kahe aasta keskmisena kõige tugevam lehetupe glaukosiidsus sordil 'Perenaise' (9 palli) ja kõige nõrgem sordil 'Fredis' (3 palli). Sortidel 'Ada', 'Skagen', 'KWS Emil', 'Etana', 'Balitus' ja 'Ruske' esines tunnus tugevalt kuni väga tugevalt (8–9 palli). Sortidel 'Edvins' ja 'Ramiro' oli see keskmine ja tugeva vahepealne (6 palli). 2021. aastal oli glaukosiidne kirme sortidel tugevam kui 2022. aastal. Tugevam glaukosiidsus oli tingitud kõrgemast õhutemperatuurist ja väiksemast sademete hulgast enne täisõitsemise faasi. Kõige suurem mõju tunnusele oli sordil, samas oli väiksemal määral usutav ka aasta ning aasta ja sordi koosmõju. Sortide keskmine variatsioonikoefitsient oli vahemikus 4,6–13,7%. Kõige ühtlasem oli selle tunnuse osas 'Perenaise', millel puudus varieeruvus mõlemal aastal ning kõige ebahühtlasemalt väljendus tunnus sortidel 'Ada' ja 'KWS Emil' (13,7%).

Tabel 2. Talinisu morfoloogiliste tunnuste ja terasaagi determinatsiooni indeksid

Morfoloogilised tunnused ja terasaak	Determinatsiooni indeks (%)		
	Sort R_S^2	Aasta R_A^2	Aasta \times Sort $R_A^2 \times R_S^2$
Kooldunud lipulehtedega taimede osatähtsus	99,7***	0,016 ns	0,14**
Lipulehe lehetupe glaukosiidsus	79,4***	13,7***	4,4***
Kõrrekaela glaukosiidsus	85,5***	8,0***	5,9***
Pea glaukosiidsus	85,0***	8,6***	2,7**
Pea kuju	84,4***	0,4 ns	1,8 ns
Pea tihedus	85,0***	0,1 ns	4,9 ns
Ohete ja ogateravike pikkus pea tipus	98,2***	0,01 ns	0,5 ns
Terasaak	73,8***	3,6**	9,6**

ns = mitte usutav; ***, **, * usutav vastavalt $p < 0,001; 0,01; 0,05$

Sort R_S^2 – usutav sordi mõju; R_A^2 – usutav aasta mõju; $R_A^2 \times R_S^2$ – usutav sordi ja aasta koosmõju

Kõrrekaela glaukosiidsus oli kahe aasta keskmisena väga tugev (9 palli) sortidel 'Perenaise' ja 'Ruske'. Tugev (7 palli) oli tunnus sordil 'Ramiro' ning tugeva ja väga tugeva vahepealne (8 palli) sortidel 'Ada', 'Skagen', 'KWS Emil', 'Etana' ja 'Balitus'. Sordil 'Edvins' oli tunnus keskmise ja tugeva vahepealne (6 palli) ning väga nõrga ja nõrga vahepealne (2 palli) oli see sordil 'Fredis'. Kõige suurem usutav mõju oli kõrrekaela glaukosiidsusele sordil, aga usutav oli ka aasta ning aasta ja sordi koosmõju. Sortide kahe aasta keskmine variatsioonikoefitsient oli vahemikus 8,2–13,7%, väiksem oli see sordil 'Edvins'. Suurim sortidel 'Ada', 'Skagen', 'KWS Emil', 'Etana' ja 'Balitus'. Varieeruvus puudus sortidel 'Perenaise', 'Ramiro' ja 'Ruske'. Võrreldes kahte katseaastat, oli kõrrekaela glaukosiidsus tugevam 2021. aasta vegetatsiooniperioodil.

Pea glaukosiidsuse kahe aasta keskmised hinded olid vahemikus 1–8 palli. Kõige kõrgem oli pea glaukosiidsuse hinne sordil 'Balitus' (8 palli). Tugev oli glaukosiidsus (7 palli) sortidel 'Perenaise' ja 'Etana'. Sortidel 'Ada' ja 'Skagen' oli tunnus keskmise ja tugeva vahepealne (6 palli) ning 'KWS Emilil', 'Ruskel' ja 'Edvinsil' keskmine (5 palli). Nõrk (3 palli) oli tunnus sordil 'Ramiro' ja väga nõrk (1 pall) sordil 'Fredis'. Suurimal määral sõltus tunnus sordist, aga samuti oli usutav aasta ning aasta ja sordi koosmõju. Sortide kahe aasta keskmine variatsioonikoefitsient oli vahemikus 6,4–14,6%. Kõige väiksem oli see sordil 'Balitus' ja kõige suurem sordil 'Edvins'. Varieeruvus puudus ainukesena sordil 'Ramiro'. Pea glaukosiidsus esines tugevamalt 2021. aastal.

Pea kuju profiilis. Kahe aasta keskmisena esines sortidel kahte tüüpi pea kujusid. Sordid 'Skagen', 'Fredis', 'Edvins', ja 'KWS Emil' olid koonusja pea kujuga. Paralleelne oli pea kuju sortidel 'Ramiro', 'Etana', 'Balitus', 'Ada', 'Perenaise' ja 'Ruske'. Aastate vahel ei olnud erinevusi selle tunnuse osas, pea kuju sõltus sordist. Uuritud sortidel ei olnud mõlemal aastal varieeruvust selle tunnuse osas (keskmine variatsioonikoefitsient 0%).

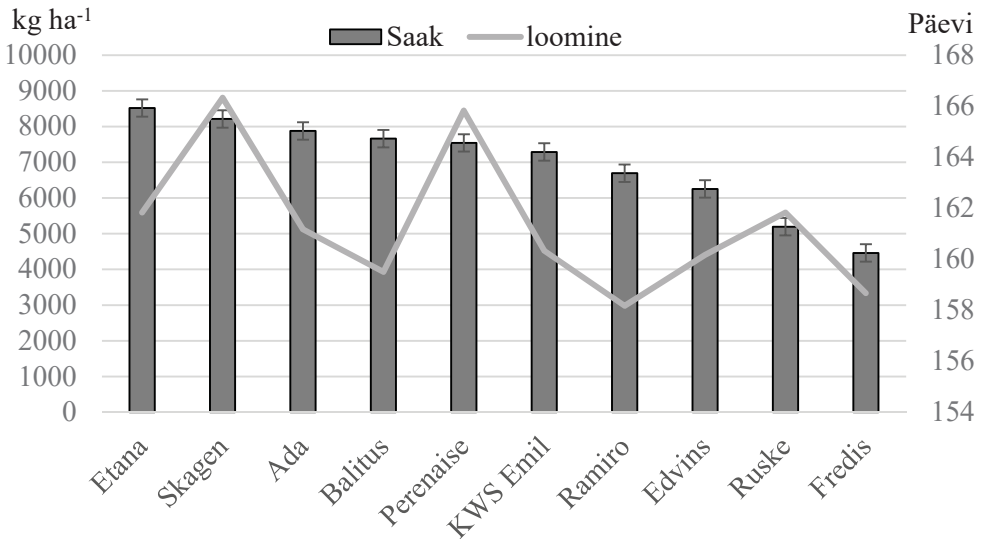
Pea tihedus. Enamusel sortidel oli see keskmine (5 palli, 17–22 lüli). Hõreda ja keskmise vahepealse tihedusega (16–17 lüli) olid sordid 'Skagen' ja 'Ramiro'. Hõredapealised (3 palli, kuni 16 lüli) olid sordid 'Ada' ja 'KWS Emil'. Pea tihedus sõltus sordist. Sortide keskmine variatsioonikoefitsient oli vahemikus 7–12,2%. Väiksem oli see sordil 'Perenaise' ja suurim sordil 'Ramiro'. Sortidel 'Fredis', 'Edvins', 'KWS Emil', 'Etana', 'Balitus' ja 'Ruske' ei esinenud varieerumist selle tunnuse osas kummalgi aastal.

Ohete ja ogateravike pikkus pea tipus. Antud katses oli kaks sorti ohetega, need olid 'Fredis' ja 'Edvins'. Sordil 'Fredis' oli ohete pikkus keskmine (5 palli, ohted on peaga ühepikkused) ja sordil 'Edvins' olid need lühikesed (3 palli, ohted on peast lühemad). Ülejäänud sordid olid ogajätketega ehk ogateravikega. Pikad (7 palli) olid ogateravikud sordil 'Ramiro', lühikesed kuni keskmised (4 palli) sordil 'KWS Emil' ning keskmised kuni pikad (6 palli) sordil 'Ruske'. Lühikesed

ogateravikud olid sortidel ‘Ada’, ‘Skagen’, ‘Perenaise’ ja ‘Etana’. Ogateravike pikkusele oli usutav mõju ainult sordil. Sortide keskmine variatsioonikoefitsient oli vahemikus 8,2–12,9%, väiksem oli see sordil ‘Ruske’ ja suurim sordil ‘Etana’. Varieerumist ei esinenud sortidel ‘Ada’, ‘Skagen’, ‘Fredis’, ‘Edvins’, ‘Ramiro’ ja ‘Balitus’. Uuritud sortidest oli värvunud peaga sort ‘Ruske’, ülejäänud sordid olid kõik valgepealised.

Terasaak ja kasvuage. 2021. aastal oli sortidel loomise ja küpsuse aeg varajasem võrreldes 2022. aastaga. Aastal 2021 oli varajasemate sortide loomine 7.–8. juunil, 2022. aastal 9.–10. juunil. Hilisemate sortide loomine oli vastavalt 13. ja 19.–20. juunil. Sortidest olid varajasema loomisajaga ‘Fredis’, ‘Ramiro’ ja ‘Balitus’ (joonis 1).

Sortide loomise aeg oli korrelatsioonis kasvuaja pikkusega – varem loomisfaasi jõudnud sortidel oli ka lühem kasvuage. 2021. aastal jõudsid varajased sordid vahaküpsuse faasi alates 16. juulist ja hilisemad 20.–22. juulil. 2022. a saabus kõikidel sortidel küpsuse arengufaas hiljem ja varajasemad jõudsid vahaküpsuse lõppu 30. juulil, hilisemad aga 3.–4. augustil. Vaatamata varajasemale loomisajale ja varajasemale küpsusele, oli 2021. aastal sortidel suurem terasaak kui 2022. aastal. Katses uuritud sortide keskmine saak oli 2021. aastal 7249 ja 2022. a 6693 kg ha⁻¹. Saagi varieerumine sõltus kõige rohkem sordist, usutav oli ka aasta ning aasta ja sordi koosmõju. Kahe aasta keskmisena olid suurima saagiga sordid ‘Etana’ ja ‘Skagen’. Varajased sordid ‘Fredis’, ‘Ruske’, ‘Edvins’ ja ‘Ramiro’ olid kahe aasta keskmiste andmete põhjal madalama saagi tasemega.



Joonis 1. Talinisu sortide terasaak (kg ha⁻¹) ja loomiseni kulunud päevade arv (alates 1. jaanuar) 2021. ja 2022. a keskmisena; I = PD_{0,05%}

Kokkuvõte

Hinnatud morfoloogilisi tunnuseid mõjutas kõige rohkem sort. Ilmastik mõjutas lipulehe lehetupe, kõrrekaela ja pea glaukosiidsuse tugevust. Ka talinisu sortide saagikuse ja kasvuaja varieerumist mõjutas kõige rohkem sort, samas oli ka usutav aasta ning aasta ja sordi koosmõju. Kõik lipulehed olid väga tugevalt kooldunud sortidel 'Ramiro' ja 'Edvins', püstised sortidel 'Ada', 'Skagen', 'Perenaise' ja 'KWS Emil'. Glaukosiidsused olid kõikidel sortidel tugevamad 2021. aastal, mil ka loomiseelsed ja -järgsed õhutemperatuurid olid keskmisest kõrgemad ning sademeid oli vähem. Kahe aasta keskmisena oli glaukosiidus kõige nõrgem sordil 'Fredis' ja kõige tugevam sortidel 'Perenaise', 'Ruske' ja 'Balitus'. Koonusjas pea kuju oli sortidel 'Skagen', 'Fredis', 'Edvins' ja 'KWS Emil'. Paralleelne oli pea kuju sortidel 'Ada', 'Perenaise', 'Ramiro', 'Etana', 'Balitus' ja 'Ruske'. Enamus sordid olid keskmise pea tihedusega, hõredapealised olid sordid 'Ada' ja 'KWS Emil'. Sordid 'Edvins' ja 'Fredis' olid ohetega, ülejäänud sordid oli ogajätketega. Pikad olid ogajätked sordil 'Ramiro' ja lühikesed sortidel 'Ada', 'Skagen', 'Perenaise' ja 'Etana'. Värvunud peaga oli sort 'Ruske', teised olid valgepealised. Sortidest olid varajasema loomisajaga 'Fredis', 'Ramiro' ja 'Balitus'. Sordid 'Etana' ja 'Skagen' olid kahe aasta keskmisena suurima terasaa-giga.

Kasutatud kirjandus

- CPVO – TP/ 019/2 Rev., 06.11.2011. Community Plant Variety Office. European Union. Protocol for Distinctness, Uniformity and Stability Tests. Wheat, p. 9–19.
- MES nõuandeteenistus. <https://www.pikk.ee/valdkonnad/taimekasvatus/teraviljakasvatus/kasvufaasid/> (14.12.2022)
- Statistikaamet. <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/pollumajandus-kalandus-ja-jahindus/pollumajandus> (13.12.2022)
- Annus, H. 1974. Põldtunnustamine seemnekasvatuses. 435 lk, Valgus, Tallinn.
- Richards, R.A., Rawson H.M., Johnson, D.A. 1986. Glauconess in Wheat: Its Development and Effect on Wateruse Efficiency, Gas Exchange and Temperatures. – Australian Journal of Plant Physiology, Vol 13 No 4, 465–473.
- Pauk, J., Cseuz, L., Lantos, C., Mihály, R., Szénási, M., Fehérmé, J.E., Lelley, T., Majer, P., Sass, L., Horváth, G.V., Vass, I., Dudits, D. 2009. Drought stress and the response of wheat: nursery and complex stress diagnostic experiments. 60. Tagung der Vereinigung der Pflfl anzenzüchter und Saatgutkaufffl eute Österreichs, 15–18.

TERAVILJADE ARABINOKSÜLAANI SISALDUS SÕLTUVALT VILJELUSVIISIST, ILMASTIKUST JA SORDIST

Mailis Korge, Maarika Alaru, Indrek Keres, Banafsheh Khaleghdoust,
Kaidi Möll, Evelin Loit

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Korge, M., Alaru, M., Keres, I., Khaleghdoust, B., Möll K., Loit, E. Cereals arabinoxylan content depending on cropping system, weather conditions and variety. – Agronomy 2023.

In the light of increasing organic production the accumulation of arabinoxylans (AX), health promoting dietary fibre components, was analyzed in winter wheat and spring barley grains cultivated in organic and conventional conditions. The grain samples from a long-term experiment conducted at the Estonian University of Life Sciences were analyzed for arabinoxylan content from 2014–2021. Different spring barley and winter and spring wheat varieties grains were investigated collected from the Estonian Crop Research Institute. Furthermore, winter and spring barley, winter wheat, oat and rye samples were collected and analysed from production fields of Yield Competition 2022. Results showed that the arabinoxylan content of winter wheat and spring barley grains were influenced by weather conditions, especially by temperature during the grain filling period. Higher temperature increased arabinoxylan content in grains. Cropping system and fertilizer treatments affected the crop yield and through this also winter wheat grains arabinoxylan content, which was higher in organic cropping system compared to conventional in years with cooler grain filling periods. Wheat and barley varieties had limited effect on AX content. Cereal species had a greater impact on grains arabinoxylan content. The highest AX content was in rye and oat from Yield Competition, followed by triticale, wheat, and barley. These results suggest that arabinoxylan from cereal grains can be a valuable resource for cereal valorisation via nutritional enhancement.

Keywords: arabinoxylan, organic, conventional, temperature, cereal grains

Sissejuhatus

Teravilja teris koosneb tärklise ja proteiini kõrval veel märkimisväärses osas kiudainetest. Need on süsivesikud, mis ei seedu ega imendu peensooles, vaid liiguvad käärsoolde, kus toimub kiudainete bakteriaalne fermentatsioon (Ibba jt, 2021). Kiudaineid väärtustatakse nende positiivse mõju tõttu toidu omadustele ja inimese tervisele.

Arabinoksülaanid (AX) on üks peamistest mittetärkliseliste polüsahhariidide rühmadest teraviljades lisaks tselluloosile ja β -glükaanidele (Knudsen jt, 2014). Kuigi AX osakaal kogu terast on väike, jäädes 3–12% vahemikku (Izydorcyk, Bilianderis, 2007), on see siiski peamine struktuurne polüsahhariid tera endospermis, aleuroonkihis, sökaldes ja kestas ning seega moodustab olulise osa jahu kiudainest (Comino jt, 2000; Skendi jt, 2011). Lisaks on AX-del leitud metaboolset aktiivsust (Guillon, Champ, 2000). Arabinoksülaani leidub kõigis Eestis kasva-

tatavates teraviljades nagu nisu, oder, kaer ja rukis. Varasemalt on leitud, et AX mõjutab nii leiva küpsetusomadusi, õlle pruulimist kui ka loomasööda omadusi (Van Craeyveld, 2009). Kiudainet piisavas koguses tarbides võib väheneda vere kolesterooli- ja veresuhkrutase, paraneda ainevahetus ja soolestiku mikroobi-kooslus (Sun jt, 2022). Siiski on leitud, et tänapäeva inimese päevane kiudainete tarbimine on ebapiisav (Jones jt, 2014). Seda probleemi aitaks leevendada AX-iga rikastatud toidu või toidulisandite kasutamine, millele annaks aluse suure AX sisaldusega teraviljade kasvatamine toiduks.

Teraviljade AX sisaldus on mõjutatud agronomilistest, keskkonna- ja geneetilistest teguritest (Takač jt, 2022). Mahepõllumajanduse osatähtsuse suurendamist Eestis soosib Euroopa roheline kokkuleppe algatus „Talust taldrikule“, mille eesmärgiks on suurendada aastaks 2030 mahedalt viljeletud põllumaa osakaalu EL-is 25%-ni (European Commission, 2020). Seetõttu on oluline teada, kuidas maheviljelus võib mõjutada teraviljade AX sisaldust. Seni on leitud, et pehme nisu AX sisaldus on suurem tavaviljeluse tingimustes ning speltanisul maheviljeluses (Takač jt, 2022). Ka on leitud, et põua tingimustes suureneb nisu AX sisaldus (Coles jt, 1997), kusjuures suvinisu AX sisaldus on talinisuga võrreldes suurem (Li jt, 2009). Kuid ilmnenu on ka, et nisu liik AX sisaldust terades ei mõjuta (Selga jt, 2023).

Käesolevas töös jätkati viljelusviiside ja ilmastiku mõju uurimist teravilja kvaliteedile ning hinnati mahe- ja tavaviljeluse mõju talinisu ja suviandra terade AX sisaldusele erinevates väetusvariantides kaheksa aasta jooksul. Me oletasime, et teraviljade AX sisaldus on suurem maheviljeluses ning see sõltub põuast kasvuperioodil. Lisaks võrdlesime AX sisaldust erinevates teraviljades ja sortides, mis koguti Eesti Taimakasvatuse Instituudi katsepõldudel ja Viljelusvõistlusel osalenud tootmispõldudel.

Materjal and metoodika

Põldkatse 1. Teraviljade terad koguti Eesti Maaülikooli taimekasvatuse ja taimebioloogia õppetooli pikaajalise külvikorra katselt. Andmed saadi talinisu (‘Fredis’) ja suviandra (‘Anni’) aastate 2014–2021 teraproovide analüüsimisest. Viieväljaline katse koosnes järgmistest liikidest: (i) oder (*Hordeum vulgare* L.) punase ristiku allakülviga, (ii) punane ristik (*Trifolium pratense* L.), (iii) talinisu (*Triticum aestivum* L.), (iv) hernes (*Pisum sativum* L.) ja (v) kartul (*Solanum tuberosum* L.). Liigid järgnesid üksteisele näivleatunud (*Stagnic luvisol*) mullal.

Kõik katse variandid olid neljas korduses. Katselapi suurus oli 60 m². Orgaanilisi (Org0, Org1, Org2) ja tavaviljeluse (N0, N1, N2, N3) variante väetati vastavalt orgaaniliste ja mineraalväetistega. Mahesüsteemi variantideks olid kontroll (Org0 e looduslik foon), teiseks talvised vahekultuurid kui „roheväetis“

(Org1), mille taimiku toitained viidi mulda kevadel külveelse künniga ja kolmandaks talvised vahekuultuurid koos kevadel pealtväetisena antud komposteerunud veisesõnnikuga (10 t ha⁻¹; Org2). Tavasüsteemi variandid erinesid üksteisest mineraalse lämmastiku (NH₄NO₃) koguste poolest: N0 (kontroll, N₀P₀K₀), (N1) N40–50 (N₄₀₋₅₀P₂₅K₉₅), (N2) N80–100 (N₈₀₋₁₀₀P₂₅K₉₅) ja (N3) N120–150 (N₁₂₀₋₁₅₀P₂₅K₉₅). Madalama lämmastikunormiga (N₄₀, N₈₀, N₁₂₀) väetati punase ristiku allakülviga odra variante, kõrgema normiga (N₅₀, N₁₀₀, N₁₅₀) talinisu variante.

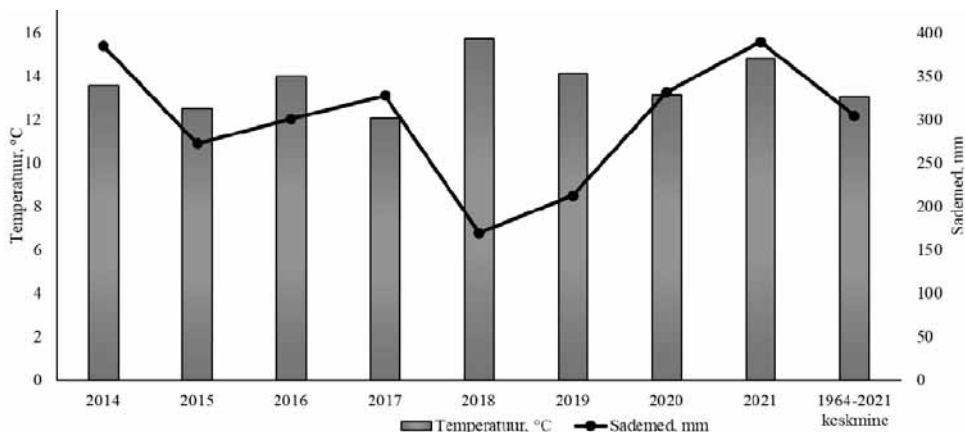
Põldkatse 2. Teise katse suviadra, tali- ja suvinisu proovid, mille AX sisaldust võrreldi, saadi Jõgevamaalt Eesti Taimikasvatuse Instituudist. Teravilju kasvatati 2021. aastal leetjal (*Luvisol*) mullal. Suviviljad külvati aprillis ja väetati kompleksväetisega Yara Mila normiga N₉₀P₂₄K₅₄ + S + Mg + B. Talinisu sai sügisel väetist Yara Mila normiga N₂₇P₃₆K₇₅, lisaks kasvuperioodil N₁₂₄ (75 Eurochem + 50 Axan). Sordid valiti võrdlusesse Eesti Sordilehest v.a kõrge saagikusega õlleodra sort ‘Quench’, kõrge saagipotentsiaaliga eliitklassi toidunisu ‘KWS Scirocco’ ja vene päritolu kõvanisu sort ‘Donskaja Elegia’. Talinisudest olid lisaks Sordilehe sortidele kõrge saagipotentsiaali ja kvaliteediga sordid ‘Julie’ ja ‘Širvinta 1’.

Katse 3. Lisaks määrati AX sisaldus 2022. aasta Viljelusvõistluse tali- ja suviadra, talinisu, kaera (*Avena sativa* L.), talirukki (*Secale cereale* L.) ja talitritikale (*Triticosecale* Wittm. ex A. Camus.) erinevate sortide proovidest. Proovid koguti üle Eesti paiknevate põllumajandustootjate põldudelt.

AX-i sisaldus kõigis teraviljaproovides määrati ensümaatilisel, järgides d-ksüloosi määramisprotseduuri mikrotiiterplaadile tootjapoolse juhendi järgi (*Megazyme International*, Iirimaa) kolmes korduses. Proovide AX sisalduse leidmiseks määrati lahuse optilist tihedust mikrotiiterplaadi lugejas *Clariostar* (*BMG Labtech*, Saksamaa) lainepikkusel 340 nm.

Info põldkatse 1 ilmastikutingimuste kohta koguti ilmajaamast Eerika katsepõllu läheduses. Ilmastiku andmed on välja toodud joonisel 1.

Statistiline andmetöötlus. Kõik AX-i mõõtmised viidi läbi kolmes korduses. Tulemused on välja toodud korduste keskmisena ± standardviga. Analüüsimiseks kasutati tarkvarapaketti *Statistica 13* (*TIBCO Software Inc*, USA) ühe- ja mitme-faktorilist dispersioonanalüüsi (ANOVA). Usutavate (p < 0,05) erinevuste ilmnemisel kasutati keskmiste erinevuste määramiseks Fisheri vähima olulise erinevuse testi (*LSD posthoc test*).



Joonis 1. Keskmine õhutemperatuur ja sademete hulk perioodidel aprill–august aastatel 2014–2021

Tulemused ja arutelu

Arabinoksülaani sisaldus talinisu ja suviodra terades sõltuvalt viljelusviisist ja ilmastikust

Enim sõltus nisu ja odra terade AX-i sisaldus katseaasta ilmastiku tingimustest ($p < 0,001$; tabel 1), mida on leitud ka varasemalt (Finnie jt, 2006; Marconi jt, 2020; Selga jt, 2023). Lämmastiku norm ega teravilja liik AX sisaldust oluliselt ei mõjutanud. Ka teise olulise kiudaine β -glükaani sisaldus teraviljades, mida varasemalt uurisime, ei olnud mõjutatud väetamisest (Korge jt, 2022). Talinisu ja suviodra AX sisaldus oli suurim 2016. a (vastavalt 6,68 ja 5,59 g 100 g⁻¹). Madalaimad AX tulemused mõõdeti 2020. a talinisel (2,84 g 100 g⁻¹) ja 2017. a nii talinisel kui suviodral (vastavalt 3,24 ja 2,79 g 100 g⁻¹).

Tabel 1. Arabinoksülaani sisaldus väetusvariantide keskmisena talinisu ja suviodra proovides erinevatel aastatel, g 100 g⁻¹

Aasta	Talinisu AX, g 100 g ⁻¹	Suviodra AX, g 100 g ⁻¹
2014	5,24 ± 0,29bc	5,19 ± 0,16ab
2015	5,75 ± 0,23b	4,68 ± 0,11bc
2016	6,68 ± 0,12a	5,59 ± 0,28a
2017	3,24 ± 0,31e	4,20 ± 0,13c
2018	4,64 ± 0,33cd	4,62 ± 0,17dc
2019	4,31 ± 0,15d	4,09 ± 0,18c
2020	2,84 ± 0,32e	2,79 ± 0,13d
2021	5,25 ± 0,12bc	4,73 ± 0,28bc

Erinevate tähtedega tähistatud väärtused samas veerus on usutavalt erinevad ($p < 0,05$)

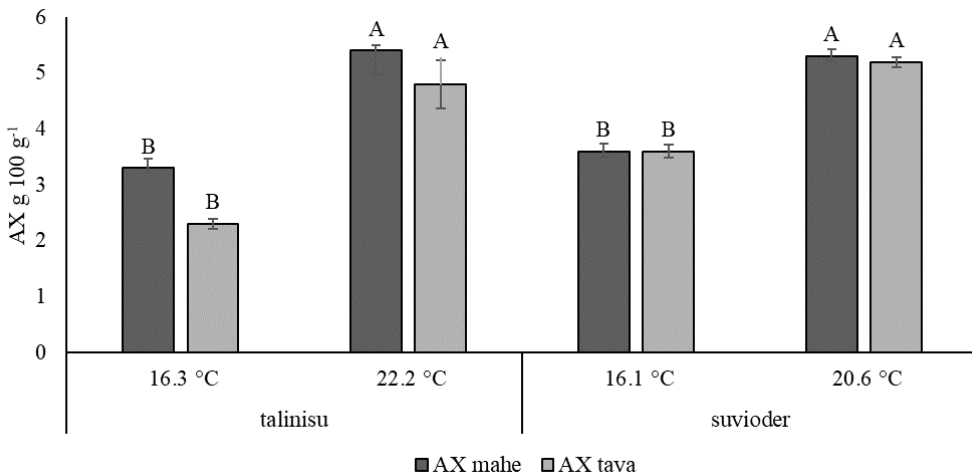
Väetisvariantide vaheline erinevus katseaastate keskmisena oli talinisu puhul kuni 0,58 ja suviodrals kuni 0,50 g 100 g⁻¹, samas katseaastate vaheline erinevus väetusvariantide keskmisena oli vastavalt 3,85 ja 2,41 g 100 g⁻¹. Katseaastate ja väetusvariantide keskmisena oli talinisu (4,74 g 100 g⁻¹) AX sisaldus usutavalt ($p = 0,025$) suurem võrreldes suviodruga (4,23 g 100 g⁻¹).

Varasemalt on leitud, et AX sisalduse suurenemist teraviljades soodustab põud (Coles jt, 1997; Selga jt, 2023). Meie katses sademete hulk teravilja AX-i sisaldust oluliselt ei mõjutanud. Nagu Buksa jt (2014) on leidnud, nii ka meie uurimus näitas, et tera kasvu- ja küpsemisaegsel õhutemperatuuril on oluline mõju AX sisaldusele terades. Nii odra kui ka talinisu puhul oli nende AX sisaldus mõjutatud eelkõige temperatuurist mais (võrsumine/kõrsumine) ja juulis (terade täitumisperiod). Aastatel, mil talinisu tera täitumisperiodil juulis oli keskmine õhutemperatuur 15,7–16,4 °C, oli AX sisaldus nisuterades 2,84–5,75 g 100 g⁻¹. Kui juulikuu temperatuur oli kõrgem, vahemikus 18–22,4 °C, siis jäi AX sisaldus terades vahemikku 5,25–6,68 g 100 g⁻¹. Sama tendents ilmnis suviodralla tera täitumisperiodil 2–3 nädalat hiljem, kus madalamal temperatuuril vahemikus 16,1–17,2 °C varieerus AX-i sisaldus 2,74–3,87 g 100 g⁻¹. Kõrgem temperatuur (19,9–23 °C) põhjustas AX-i sisalduse tõusu, mis jäi vahemikku 4,21–5,14 g 100 g⁻¹. Kuna tulevased kliimamudelid ennustavad Põhja-Euroopale õhutemperatuuri tõusu (Zhao jt, 2022), võib see tähendada, et ka terade AX sisaldus võib sellistes tingimustes olla suurem.

Maikuu temperatuur koosmõjus viljelusviisiga mõjutavad maapealse biomassi kasvu ja terasaagi kujunemist (Evans, 1983; Ryan jt, 1997) ja seeläbi kaudsel AX sisaldust terades. Mineraalse N parema kättesaadavuse tõttu taimede varasemates arengufaasis võrreldes N-ga orgaanilistest allikatest (Alaru jt, 2014; Efreteui jt, 2016), on tavasüsteemides saak palju suurem (Keres jt, 2020). Katseaastate keskmine talinisu saak varieerus tavasüsteemis (st N1–N3) väetamisel vahemikus 4,66–4,98 t ha⁻¹, mis oli kuni 45% kõrgem kui mahevariantides (st Org0–Org2). Ka suviodralla saak erines sarnaselt, olles tavasüsteemis 3,32–3,80 t ha⁻¹, ehk kuni 57% kõrgem mahevariantide saagikusest. Talinisu saak oli negatiivses seoses AX sisaldusega terades ($r = -0,27$, $p < 0,05$) ning tavaviljeluses kasvanud talinisu terade AX sisaldus oli madalam. Suviodralla AX sisaldus aga oli negatiivses korrelatsioonis 1000 tera massiga ($r = -0,50$, $p < 0,001$) ja positiivses suhtes mahumassiga ($p = 0,29$, $p < 0,05$). Samal ajal oli suviodralla 1000 tera mass negatiivses korrelatsioonis õhutemperatuuriga nii võrsumise/kõrsumise ($r = -0,58$, $p < 0,001$) kui ka täitumisperiodil ($r = -0,38$, $p < 0,01$). Võrsumise/kõrsumise faasis mõjutab temperatuur seemnealgete teket. Soojema maikuu puhul moodustab odra taim kõrsumisfaasis ilmselt rohkem seemnealgeid, mille tõttu tekib ka rohkem teri viljapea kohta ja 1000 tera mass on madalam. 1000 tera

mass mõjutab endospermi/kesta suhet ning väiksemates terades on AX osakaal suurem (Lempereur jt, 1997).

Meie tulemused näitasid, et tera täitumisperioodi madalamal temperatuuri korral oli mõlema teravilja AX sisaldus madalam võrreldes kõrgema temperatuuriga (joonis 2). Kõrgemal temperatuuril erinevused AX sisalduses väetusvariantide ja viljelussüsteemide vahel vähenesid.



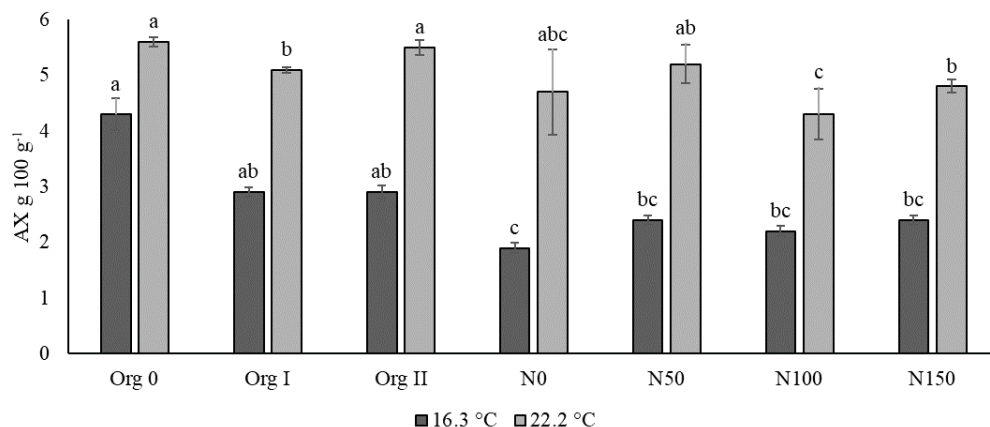
Joonis 2. Taliniisu ja suviordera keskmised AX sisaldused madalamal ja kõrgemal temperatuuril tera täitumisperioodil, g 100 g⁻¹

Erinevate tähtedega tähistatud väärtused sama viljelusviisi piires on usutavalt erinevad ($p < 0,05$)

Viljelusviisi mõju AX sisaldusele terades oli usutav vaid taliniisu terade täitumisperioodil madalamal temperatuuril, mil AX sisaldus oli usutavalt suurem mahevariantides võrreldes tavasüsteemiga (joonis 3). Suviordera terade AX sisaldus viljelusviisist usutavalt mõjutatud ei olnud, kuid selle perioodi temperatuur oli positiivses seoses suviordera mahukaaluga ($p < 0,01$), mis omakorda oli positiivses korrelatsioonis AX sisaldusega suviordera terades ($p < 0,05$). Võib oletada, et see positiivne seos peegeldas suuremat AX sisaldust just tera endospermis, kuna mineraalväetiste kasutamine pikendas tera täitumisperioodi ja seetõttu ka terade mahumassi.

Arabinoksülaani sisaldus teraviljade erinevates liikides ja sortides

Suvinisu sordid erinesid oma terade AX sisalduselt usutavalt ($p = 0,011$) ning AX sisaldus suvinisu sortides varieerus 4,33 ja 5,92 g 100 g⁻¹ vahel (tabel 2). Eelnevad uuringud on näidanud, et nii teravilja liik kui ka sort mõjutavad terade AX sisaldust (Lempereur jt, 1997; Finnie jt, 2006; Li jt, 2009; Saeed jt, 2014). Meie tulemused teraviljade AX sisalduse osas olid sarnased (Pritchard jt, 2011; Saeed jt, 2014) või väiksemad (Coles jt, 1997) võrreldes varasemate nisu uuringutega ning



Joonis 3. Talinisu terade keskmine AX sisaldus erinevates väetusvariantides madalamal ja kõrgemal tera täitumisperioodi temperatuuril, g 100 g⁻¹
Erinevate tähtedega tähistatud väärtused samas temperatuuri piires on usutavalt erinevad (p < 0,05)

Tabel 2. Keskmised AX sisaldused odra ja nisu sortides, g 100 g⁻¹

Teravili	Sort	AX, g 100 g ⁻¹ ± standardviga
suvioder	Anni	4,2 ± 0,18abc
	Anneli	4,77 ± 0,60a
	Maali	3,73 ± 0,78abcd
	Tuuli	3,46 ± 0,42bcd
	Breustar	4,56 ± 0,08ab
	Grace	3,6 ± 0,33abcd
	Irina	3,8 ± 0,63abcd
	Planet	2,83 ± 0,14d
	Quench	3,48 ± 0,19bcd
	Feedway	3,21 ± 0,36cd
talinisu	Creator	5,18 ± 0,27a
	Ada	4,75 ± 0,61a
	Širvintal	4,87 ± 0,49a
	Fredis	5,91 ± 1,01a
	Perenaise	4,37 ± 0,19a
	Kallas	5,71 ± 0,19a
	Julie	5,19 ± 0,72a
suvinisu	Sibelius	5,48 ± 0,43ab
	Mireete	4,38 ± 0,18c
	T. durum Donets.	4,33 ± 0,45c
	Hiie	4,67 ± 0,39bc
	KWS Scirocco	4,53 ± 0,17c
	Manu	5,67 ± 0,30a
Voore	5,92 ± 0,14a	

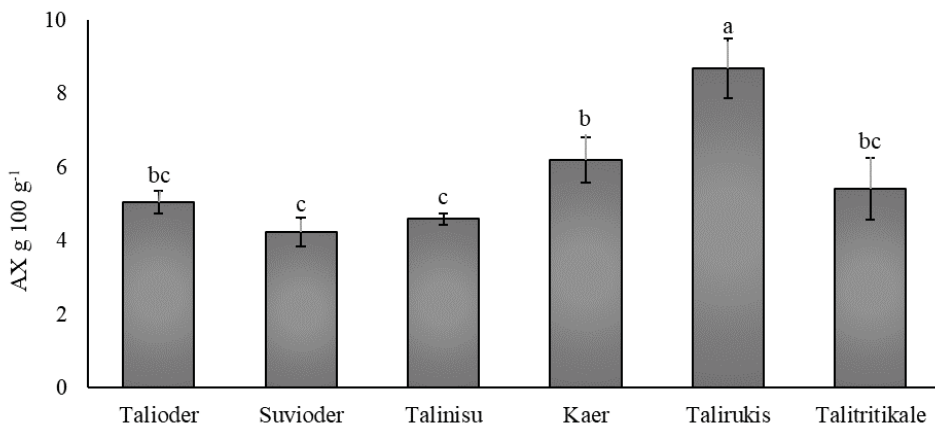
Erinevate tähtedega tähistatud väärtused ühe liigi piires on usutavalt erinevad (p < 0,05)

madalamad, kui on leitud odra terades (Han, Schwarz, 1996; Marconi jt, 2020). Kõrgeima AX sisaldusega talinisuordid olid ‘Voore’, ‘Manu’ ja ‘Sibeliu’, kus AX sisaldus oli üle 5 g 100 g⁻¹. Talinisu AX sisaldus varieerus 4,37 g 100 g⁻¹ sordis ‘Perenaise’ kuni 5,91 g 100 g⁻¹ sordis ‘Fredis’, kuid usutavalt talinisu sortide AX sisaldus ei erinenud ($p = 0,663$). Suvi-odra sortide AX sisaldused varieerusid ($p = 0,089$) 2,83 ja 4,77 g 100 g⁻¹ vahel ning suurema AX sisaldusega olid suvi-odra sordid ‘Anneli’, ‘Breustar’ ja ‘Anni’ vastavalt 4,77, 4,56 ja 4,20 g 100 g⁻¹.

Kõigi nisu sortide ja lisaks ka kolme odrasordi (‘Anneli’, ‘Breustar’, ‘Anni’) AX sisaldus jäi vahemikku 4–6 g 100 g⁻¹. Samal ajal enamuse suvi-odra sortide AX sisaldus oli alla 4 g 100 g⁻¹. Teraviljaliikide keskmised AX sisaldused olid 3,76, 5,00 ja 5,14 g 100 g⁻¹ vastavalt suvi-odral, suvi- ja talinisu. Seega uurimus näitas, et mõlemad nisu liigid on suurema AX sisaldusega võrreldes suvi-odraga. Suvi-odra AX sisaldus jäi nisust keskmiselt 25% madalamaks. Vastupidiselt varasemale infole (Li jt, 2009) ei erinenud suvi- ja talinisu oluliselt AX poolest. Seega võib oletada, et suvinisu hilisem areng ei vähenda tema väärust AX allikana.

Viljelusvõistluse proovide AX sisaldus terades oli vahemikus 3,16–8,70 g 100 g⁻¹ jahu kohta. Keskmised AX sisaldused olid suuremad talirukkil (8,70 g 100 g⁻¹), kaeral (6,19 g 100 g⁻¹) ja tritikalel (5,41 g 100 g⁻¹) (joonis 4). Rukki AX sisaldus ületas kaera keskmist AX sisaldust 29% võrra. Knudsen jt (2014) on välja toonud veelgi suuremad AX sisaldused: rukkis 9,5, kaeras 9,7 ja tritikales 8,5% KA-st, kui leidsime enda uurimuses. Izydorczyk ja Biliaderis (2007) on leidnud, et rukis on suurema AX sisaldusega (7,6–12%) kui nisu ja oder, mille AX sisaldus on sarnane (3,5–6%) ning veelgi madalam on AX kaeras (2,7–3,5%).

Valdavalt olid tali- ja suvi-odra ning talinisu AX sisaldused sarnased (vastavalt 5,06, 4,23 ja 4,59 g 100 g⁻¹) (tabel 3). Teistest usutavalt madalama AX



Joonis 4. Viljelusvõistluses kasvatatud teraviljade AX sisaldus, g 100 g⁻¹
Erinevate tähtedega tähistatud väärtused on usutavalt erinevad ($p < 0,05$)

sisaldusega sordid olid suvioder 'Vanille', talinisu 'Kallas', 'RGT Reform' ja 'Skagen', vastavalt 3,16; 4,10; 4,35 ja 4,37 g 100 g⁻¹. Seega võib öelda, et kuigi teravilja sordil on mõningane mõju AX sisaldusele terades, sõltub see peamiselt siiski teravilja liigist.

Tabel 3. Viljelusvõistluse teraviljasortide AX sisaldused, g 100 g⁻¹

Teravili	Maakond	Sort	AX g 100 g ⁻¹ ± standardviga
talioder	Jõgevamaa	Meridian	5,3 ± 0,31ab
	Pärnumaa	Kosmos	4,27 ± 1,34ab
	Jõgevamaa	Keeper	5,53ab
	Järvamaa	Wallace	4,86 ± 0,19ab
	Tartumaa	Wallace	5,50 ± 1,10ab
suvioder	Jõgevamaa	Tuuli	4,50 ± 0,35ab
	Põlvamaa	Vanille	3,16 ± 0,15b
	Valgamaa	Bente	5,04 ± 0,59ab
talinisu	Tartumaa	Emil	5,01 ± 0,09ab
	Tartumaa	Bohemia	4,93 ± 0,36ab
	Viljandimaa	RGT Reform	4,35 ± 0,31b
	Saaremaa	Spencer	5,01ab
	Tartumaa	Creator	4,59 ± 0,16ab
	Jõgevamaa	Skagen	4,37 ± 0,22b
	Lääne-Virumaa	Kallas	4,10 ± 0,81b
	Järvamaa	Emil	4,48 ± 1,23ab
	Raplamaa	Informer	4,49 ± 0,92ab
	Pärnumaa	Informer	4,88ab
	Pärnumaa	Informer	4,67 ± 0,63ab
kaer	Valgamaa	Apollon	6,48 ± 1,13ab
	Põlvamaa	Castor	5,91 ± 0,88ab
talirukis	Järvamaa	KWS Tajo	8,7 ± 0,81a
talitritikale	Põlvamaa	Rivolt	5,41 ± 0,85ab

Erinevate tähtedega tähistatud väärtused on usutavalt erinevad (p < 0,05)

Kokkuvõte

Uurimuse tulemused toetavad ideed, et teraviljade AX sisaldus võib olla väärtuslik ressurss teraviljade väärimisel. Tulemused kinnitasid meie hüpoteesi, mille kohaselt on maheviljeluses kasvatatud terade AX sisaldus kõrgem, osaliselt. Meie katses oli mahesüsteemis kasvanud talinisu terade AX sisaldus kõrgem, juhul kui tera täitumisaegne õhutemperatuur oli madalam. Meie oletus, et terade AX sisaldus sõltub põuast ei leidnud kinnitust; see sõltus hoopis õhutam-

peratuurist, mis oli võrsumise/kõrsumise ning terade täitumisperioodil positiivses korrelatsioonis terade AX sisaldusega. Väetamise ja viljelusviisi mõju AX-le oli kaudsem ja väljendus mõju kaudu terade saagile, 1000 tera massile ja mahumassile. Teraviljade võrdluse andmete põhjal võib väita, et teravilja sordil on terade AX sisaldusele väiksem mõju võrreldes teravilja liigiga. Kõige suurem AX sisaldus oli rukkis ja kaeras, neile järgnesid tritikale, nisu ja oder.

Tänuõnad

Uurimistööd finantseeriti Euroopa Regionaalarengu Fondi ja Eesti Teadusagentuuri projektide PRG1260 ja RESTA28 vahenditest.

Täname siiralt Eesti Taimekasvatuse Instituuti (nüüd Maaelu Teadmuskeskus) nisu- ja odrasortide seemnete eest, MTÜ-d Viljeluspäevad ja Viljelusvõistlusel 2022 osalenud põllumajandustootjaid. Täname ka Rõhu Katsejaama.

Kasutatud kirjandus

- Alaru, M., Talgre, L., Eremeev, V., Tein, B., Luik, A., Nemvalts, A., Loit, E. 2014. Crop yields and supply of nitrogen compared in conventional and organic farming systems. – *Agricultural and food science*, 23. pp
- Buksa, K., Nowotna, A., Ziobro, R., Praznik, W. 2014. Molecular properties of arabinoxylan fractions isolated from rye grain of different quality. – *Journal of Cereal Science*, 60(2), pp 368–373.
- Coles, G.D., Hartunian-Sowa, S.M., Jamieson, P.D., Hay, A.J., Atwell, W.A., Fulcher, R.G. 1997. Environmentally-induced variation in starch and non-starch polysaccharide content in wheat. – *Journal of Cereal Science*, 26. pp
- Comino, P., Shelat, K., Collins, H., Lahnstein, J., Gidley, M. J. 2013. Separation and purification of soluble polymers and cell wall fractions from wheat, rye and hull less barley endosperm flours for structure-nutrition studies. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(49), pp 12111–12122.
- Efretuei, A., Gooding, M., White, E., Spink, J., Hackett, R. 2016. Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland. – *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 55. pp
- European Commission. 2020. Farm to Fork. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf (03.0.12022)
- Evans, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). – *Plant Physiology* 72, pp 297–302.
- Finnie, S. M., Bettge, A.D., Morris, C.F. 2006. Influence of cultivar and environment on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. – *Cereal Chemistry*, 83(6), pp 617–623.

- Guillon, F., Champ, M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. – *Food Research International*, 33, pp 233–245.
- Han, J.Y., Schwarz, P.B. 1996. Arabinoxylan composition in barley, malt, and beer – *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 54(4), pp 216–220.
- Ibba, M.I., Juliana, P., Hernández-Espinosa, N., Posadas-Romano, G., Dreisigacker, S., Sehgal, D., Crespo-Herrera, L., Singh, R., Guzmán, C. 2021. Genome-wide association analysis for arabinoxylan content in common wheat (*T. aestivum* L.) flour. – *Journal of Cereal Science*, 98 pp.
- Izydorczyk, M.S., Biliaderis, C.G. 2007. Arabinoxylans: Technologically and Nutritionally Functional Plant Polysaccharides. – *Functional food carbohydrates*. (eds.) C.G. Bilianderis, M.S. Izydorczyk, pp 249–290.
- Jones, J.M. 2014. CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap.” – *Nutrition Journal*, 13(1)
- Keres, I., Alaru, M., Talgre, L., Luik, A., Ereemeev, V., Sats, A., Jõudu, I., Riisalu, A., Loit, E. 2020. Impact of weather conditions and farming systems on size distribution of starch granules and flour yield of winter wheat. – *Agricultural and Food Science*, 29 (3), pp 210–221.
- Knudsen, K.E.B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. – *Poultry Science*, 93(9), pp 2380–2393.
- Korge, M., Khaleghdoust, B., Alaru, M., Keres, I., Kurg, M., Loit, E. 2022. Beetaglükaani sisaldus odra ja nisu terades sõltuvalt lämmastikväetise normist ja viljelusviisist. – *Agronoomia* 2022, lk 224–230.
- Lempereur, I., Rouau, X., Abecassis, J. 1997. Genetic and agronomic variation in arabinoxylan and ferulic acid contents of durum wheat (*Triticum durum* L.) grain and its milling fractions. – *Journal of Cereal Science*, 25, pp 103–110.
- Li, S., Morris, C.F., Bettge, A.D. 2009. Genotype and Environment variation for arabinoxylans in hard winter and spring wheats of the U.S. Pacific Northwest. – *Cereal Chemistry*, 86(1), pp 88–95.
- Marconi, O., Tomasi, I., Sileoni, V., Bonciarelli, U., Guiducci, M., Maranghi, S., Perretti, G. 2020. Effects of growth conditions and cultivar on the content and physicochemical properties of arabinoxylan in barley. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), pp 1064–1070.
- Pritchard, J.R., Lawrence, G.J., Larroque, O., Li, Z., Laidlaw, H.K.C., Morell, M.K., Rahman, S. 2011. A survey of β -glucan and arabinoxylan content in wheat. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), pp 1298–1303.
- Ryan, J., Nsarellah, N., Mergoum, M. 1997. Nitrogen fertilization of durum wheat cultivars in the rain fed area of Morocco: biomass, yield, and quality considerations. – *Cereal Research Communications*, 25(1), pp 85–90.
- Saeed, F., Pasha, I., Anjum, F.M., Sultan, J.I., Arshad, M. 2014. Arabinoxylan and arabinogalactan content in different spring wheats. – *International Journal of Food Properties*, 17(4), pp 713–721.

- Selga, L., Andersson, A.A.M., Moldin, A., Andersson, R. 2023. Determining levels of water-extractable and water-unextractable arabinoxylan in commercial Swedish wheat flours by a high-throughput method. – *Journal of Cereal Science*, 109.
- Skendi, A., Biliaderis, C.G., Izydorczyk, M.S., Zervou, M., Zoumpoulakis, P. 2011. Structural variation and rheological properties of water-extractable arabinoxylans from six Greek wheat cultivars. – *Food Chemistry*, 126(2), pp 526–536.
- Sun, J., Si, X., Li, T., Zhao, J., Qian, H., Li, Y., Zhang, H., Qi, X., Wang, L. 2022. The influence of water-unextractable arabinoxylan and its hydrolysates on the aggregation and structure of gluten proteins. – *Frontiers in Nutrition*, 9.
- Zhao, J., Bindi, M., Eitzinger, J., Ferrise, R., Gaile, Z., Gobin, A., Holzkämper, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kriaučiūnienė, Z., Loit, E., Nejedlik, P., Nendel, C., Niinemets, Ü., Palosuo, T., Peltonen-Sainio, P., Potopová, V., Ruiz-Ramos, M., Reidsma, P., Olesen, J.E. 2022. Priority for climate adaptation measures in European crop production systems. – *European Journal of Agronomy*, 138.
- Takač, V., Tóth, V., Rakszegi, M., Mikó, P., Mikić, S., Miroslavljević, M. 2022. The Influence of Farming Systems, Genotype and Their Interaction on Bioactive Compound, Protein and Starch Content of Bread and Spelt Wheat. – *Foods*, 11(24), pp 4028.
- Van Craeyveld, V. 2009. Production and functional characterisation of arabinoxylan-oligosaccharides from wheat (*Triticum aestivum* L.) bran and psyllium (*Plantago ovata* Forsk) seed husk. Arenberg Doctoraatsschool, W. de Croylaan 6, 3001 Heverlee, België.

KIKERHERNE (*Cicer arietinum* L.) SORTIDE VÕRDLUSKATSETE TULEMUSED 2018–2022 A

Lea Narits

Maaelu Teadmuskus

Abstract. Narits, L. 2023. Results of comparison tests of chickpea varieties in 2018–2022. – Agronomy 2023.

Chickpea is an important source of protein all over the world. To find a suitable chickpea variety for growing in Estonian conditions, we carried out a field trial in the Estonian Crop Research Institute (since January 1st 2023 Centre of Estonian Rural research and Knowledge) in 2018–2022. The results indicated, that chickpea is the promising culture in our conditions, the most promising variety gave the average yield of 2209 kg ha⁻¹.

Keywords: chickpea, variety, yield

Sissejuhatus

Elanikkonna varustamine ökoloogiliselt puhaste taimset päritolu valgutoodetega on oluline probleem kogu maailmas. Tänapäeval, mil muutub üha trendikamaks tervislik taimetoit, suureneb ka kikerherne, kui kõrge proteiini-, süsivesikute- ja kiusisaldusega toiduaine tarbimine (Raudseping jt, 2000). Harilik kikerhernes (tuntud ka kui põishernes või nuut) on põldherne ja -oa järel maailmas tähtsuselt kolmas kaunvili, andes 15% kogu maailma kaunviljatoodangust. Tema päritolumaad asuvad Lähis-Idas ning ta on kultuurtaimena tuntud juba 9000 aastat. Kikerhernes kuulub perekonda *Cicer*, kus on kokku 43 liiki, millest 34 on mitmeaastased ja 9 üheaastased, siia kuulub ka kultuuris kasvatatav kikerhernes (Raudseping jt, 2000). 2019. aastal toodeti maailmas umbes kümme miljonit tonni kikerherne seemneid. Suurimad tootjad olid India – 7 818 984 ja Austraalia – 874 593 tonni (FAO). Kikerhernes kuulub soojalembeliste kultuuride hulka ning on oma tugeva sammajuurestiku tõttu üsna põuakindel (Bender, 2018). Samas on tõusmed külmale küllaltki vastupidavad ja teda saab külvata varakult. Soojanõudlik on taim õitsemise/viljumise ajal – kui sel perioodil ei ole piisavalt soojust, siis õied ei viljastu ning taimele moodustuvad tühjad kaunad. Liblikõielise kultuurina moodustab kikerherne taim mügarbakteriga sümbioosi. Kuna looduslikult Eesti muldades sobivat bakteritüve ei ole, tuleks enne külvi seemet inokuleerida *Mesorhizobium ciceri* preparaadiga. Töötlemine tõstab seemnete arvu ja seemnete kaalu taime kohta, 1000 seemne kaalu ning proteiini-sisaldust (Loholosa jt, 2020; Loholosa jt, 2021).

Käesoleva töö eesmärk oli võrrelda Eestis kasvatamiseks sobivaid kikerherne sorte ja nende saagipotentsiaali.

Materjal ja meetodika

Katsed viidi läbi Eesti Taimakasvatuse Instituudi (ETKI, alates 01.01.2023 Maaelu Teadmuskeskus, METK) põldudel aastatel 2018–2022. Põldude muld oli nõrgalt kuni keskmiselt leetunud kamarkarbonaatne keskmine liivsavi. Eelvili oli kõikidel aastatel teravili (talioder, suvinisu, oder ja kaer). Põllud künti sügisel, kevadel kultiveeriti kaks korda. Külvi eel anti mulda Yara Mila NPK väetist, toimeainena N 21, P 18,5 ja K 62,3 kg ha⁻¹, lisaks poolmikroelement S 21 kg ha⁻¹ ja mikroelemendid Fe 6 ja B 0,06 kg ha⁻¹. Umbrohutõrje tehti mehhaaniliselt kõblates kaks korda kasvuajal. Taimahaiguste ja -kahjurite tõrjet ei tehtud. Katses oli kokku neli kikerhernesorti: ‘Cecei’ (Itaalia), ‘Pagomma’ (Kanada), ‘Pamiat’ (Kanada) ja Nr 76/5 (Saksamaa). Sordid valiti eelnevate katsete põhjal lühikese kasvuaja järgi. Kõik katses olnud sordid kuuluvad kabuli-tüüpi (valged õied, valge seemnekest ja nn oinapealine seemnekuju) kikerherneste hulka. Külvisenorm oli 30 idanevat seemet m²-le. Külvati käsitsi mai esimesel nädalal 1 m² katselappidele kolmes korduses. Kirjanduses (Länts, Kiik, 1964) öeldakse, et taimede varred on koredad, sisaldavad õun- ja oblikhapet ning loomad neid eriti ei söö, kuid meie põllul sõid jänessed 2020. a kikerherne taimedel ladvad ära ning seetõttu jäi see aasta katsest välja. Taimed koristati põllult vastavalt valmimisele käsitsi. Laboratooriumis tehti taimede morfoloogiline analüüs, arvatati 1000 seemne kaalud ning seemnesaagid seemnete 13% niiskusesisalduse juures. Katseandmed töödeldi ühefaktorilise dispersioonanalüüsi meetodil 95% usalduspiiri juures, kasutades andmetöötlusprogrammi AgrobasesTM.

Tulemused ja arutelu

Taimede pikkused varieerusid aastate lõikes suurel määral, maksimaalselt 38 cm ulatuses. See oli pigem kasvuaasta mõjust olenev erinevus, kuna paljud autorid (Bakir jt, 2021; Beyene jt, 2009) on öelnud, et kikerhernes on tugevalt mõjutatav abiootilistest teguritest kasvuajal. Katseaastate keskmisena oli sort Nr 76/5 teistest usutaval määral lühem (tabel 1).

Tabel 1. Kikerherne sortide taimede pikkused 2018–2022. a ETKI katsetes

Sort/Aasta	Taimede pikkus, cm				Keskmine
	2018	2019	2021	2022	
Cecei	44	59	41	75	55a
Pagomma	67	66	29	54	54a
Pamiat	64	65	42	56	57a
Nr 76/5	37	45	30	45	39b
PD _{95%}					7

Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust sortide vahel

Kuna kikerherne vars on tugev ja taimede lamandumist ei esine, siis pikem vars on eelistatum, kuna kannab rohkem kaunu.

Kikerhernel on kaunas tavaliselt üks kuni kolm seemet (Raudseping jt, 2000). Vähesed seemnete arvu kaunas kompenseerib aga kaunte suur arv, mistõttu oli meie katses heal kasvuaastal (2019) sordil 'Pagomma' taime kohta isegi 43 seemet (tabel 2). Kuumastress õitsemise ja kaunade moodustamise ajal vähendab oluliselt (kuni 50%) saaki, kuna õied ei viljastu ja kaunaalgmed pudenevad (Gaur jt, 2014; Pevasirvathan jt, 2013). Õitsemisaegsete kõrgete õhutemperatuuride tõttu oli ka meie katses 2021. ja 2022. aastal taimedel vähe seemneid. 'Pagomma' erines katseaastate keskmisena Nr 76/5-st usutaval määral (erinevus 6 seemet).

Tabel 2. Kikerherne sortide seemnete arv taime kohta 2018–2022. a ETKI katsetes

Sort/Aasta	Taime seemnete arv, tk				
	2018	2019	2021	2022	Keskmine
Cecei	10	24	14	24	18ab
Pagomma	32	43	10	8	23a
Pamiat	26	36	12	16	20ab
Nr 76/5	16	24	13	15	17b
PD _{95%}					5

Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust sortide vahel

Seemnete kaal taime kohta on seotud seemnete arvuga ning oli suurim sordil 'Pagomma' – 6,0 g ning väikseim sordil Nr 76/5 – 4,0 g (tabel 3). Ühe seemne kaal oli sortidel keskmisena 0,3 g, vaid sordil Nr 76/5 oli see 0,2 g, mis oli ka üheks põhjuseks, miks selle sordi seemnete kogukaal teistest väiksemaks jäi.

Tabel 3. Kikerherne sortide seemnete kaal taime kohta 2018–2022. a ETKI katsetes

Sort/Aasta	Taime seemnete kaal, g				
	2018	2019	2021	2022	Keskmine
Cecei	2,8	8,5	5,2	5,2	5,4a
Pagomma	8,1	11,0	3,1	1,8	6,0a
Pamiat	7,0	8,5	3,9	3,4	5,7a
Nr 76/5	4,5	4,6	4,0	2,8	4,0a
PD _{95%}					2,1

Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust sortide vahel

Kikerherne 1000 seemne kaal võib olla 100–600 g (Raudseping jt, 2000). Meie katses oli 1000 seemne keskmine kaal suurem sordil 'Cecei' – 311,0 g, mis oli usutavalt suurem vaid sordi Nr 76/5 samast näitajast (tabel 4). Väiksem oligi

sordi Nr 76/5 1000 seemne kaal – 245,7 g. Nagu ka teised näitajad, sõltus sordi 1000 seemne kaal suuresti kasvuaasta tingimustest ning varieeruvus aastate vahel oli suur (maksimaalselt 137,5 g).

Tabel 4. Kikerherne sortide 1000 seemne kaal 2018–2022. a ETKI katsetes

Sort/Aasta	1000 seemne kaal, g				Keskmine
	2018	2019	2021	2022	
Cecei	282,4	358,8	381,6	221,3	311,0a
Pagomma	268,4	256,7	308,6	241,7	268,9ab
Pamiat	267,2	238,2	338,8	208,0	263,1ab
Nr 76/5	278,2	192,1	319,8	192,5	245,7b
PD _{95%}					65,7

Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust sortide vahel

Kikerherne seemnesaagid ei ole maailmas kuigi kõrged. FAO andmetel oli maailma suurimatel kasvatajatel saagid näiteks 2019. a: India 1041, Austraalia 699; 2020. a: India 1142, Austraalia 1069; 2021. a: India 1088, Austraalia 1446 kg ha⁻¹ (FAO). Nendest tulemustest lähtuvalt olid Jõgeva katsete seemnesaagid võrreldavad maailma keskmistega. Nelja aasta keskmine saak oli suurim sordil ‘Pagomma’ – 2209 kg ha⁻¹, mis oli usutavalt suurem sordi Nr 76/5 keskmisest saagist 1364 kg ha⁻¹) (tabel 5). Parim kasvuaasta oli 2019, kui ‘Pagomma’ saak oli 3300 kg ha⁻¹. See näitas, et sobiva sordi puhul on ka Eesti tingimustes võimalik kikerhernelt saada suuri saake. Samas oli erinevatel aastatel erinevatel sortidel saagi varieeruvus väga suur. Näiteks sordil ‘Pagomma’ oli 2019. aastal saak 3300 kg ha⁻¹, aastal 2021 aga 930 kg ha⁻¹, vahe katse maksimaalsena 2370 kg. Kuigi sordil Nr 76/5 oli saak väiksem, oli see katses kõige stabiilsem, varieerudes läbi aastate vaid 85 kg ha⁻¹.

Tabel 5. Kikerherne sortide seemnesaak 2018–2022. a ETKI katsetes

Sort/Aasta	Saak, kg ha ⁻¹				Keskmine
	2018	2019	2021	2022	
Cecei	840	2550	1560	2600	1888ab
Pagomma	2430	3300	930	2175	2209a
Pamiat	2100	2550	1170	1695	1879ab
Nr 76/5	1350	1380	1320	1405	1364b
PD _{95%}					612

Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust sortide vahel

Kokkuvõte

Kikerherne kasvamist mõjutavad tugevasti kasvuaasta ilmastikutingimused. Kuigi tema saak varieerub suurel määral, on kikerhernest võimalik Eestis edukalt kasvatada, kui valida lühikese kasvuajaga sort. Saagikuselt oli meie katses parim sort 'Pagomma', nelja aasta keskmine saak 2209 kg ha⁻¹. Ka teiste katses olnud sortide saagid olid võrreldavad maailma suurimate kasvatajate keskmiste tulemustega.

Kasutatud kirjandus

- Barir, M., Sari, D., Sari, H., Wagas, M., Afif, R.M. 2021. Chickpea Wild Relatives: Potential Hidden Source for the Development of Climate Resilient Chickpea Varieties. Wild Germplasm for Genetic Improvement in Crop Plants. pp 269–297.
- Bender, I. 2018. Teised herved. Maalehe herne- ja oaraamat. (toim.) H. Pungas, M. Müüri-peal. lk 49–52.
- Beyene, A., Alene, T., Tegele, A., Berebih, A. 2009. Chickpea variety evaluation in Waghimra. Chickpea variety evaluation in the drought prone areas of Wag-Himra zone, Sekota. Sept. 2009. Conference Proceeding of the 2nd Annual Conference on Completed Crops Research Activities. Ethiopia. pp 1–5.
- Gaur, P., Srinivasan, S., Varshney, R. 2014. Drought and heat tolerance in chickpea. Legume Perspectives Issue 3. The timeless chickpea. pp 15–18.
- FAO, Food and Agricultural Organization. <https://www.fao.org/statistics> (10.01.2023)
- Loholosa, O.V., Khalep, Yu.M., Vorobei, O. 2020. Economic and bioenergy efficiency of chickpea bacterization by Mesorhizobium ciceri ND-64. Agricultural Microbiology 31, pp 64–71.
- Loholosa, O.V., Vorobei, Yu.O., Usmanova, T.O., Bushulian, O.V. 2021. Screening of modern chickpea varieties by response to bacterization. Agricultural Microbiology 33, pp 44–54.
- Länts, L., Kiik, H. 1964. Kaunviljad. Taimakasvatus. (koost.) A. Tääger. Tallinn. lk 222–277.
- Pevasirvathan, V., Gaur, P., Mallikarjuna, N., Raju, T., Trethowan R., Tan, D.K.Y. 2013. Reproductive biology of chickpea response to heat stress in the field is associated with the performance in controlled environments. Field Crop Research 142, pp 9–19.
- Raudseping, M., Kalev, S., Niiberg, T. 2000. Kikerhernes. Hernes aias ja köögis. (toim.) R. Tammsaar., E. Leivak. lk 60–62.

KARTULI SAAGIKUS ERINEVATE LÄMMASTIKVÄETISTE NORMIDEGA 2022. AASTA ANDMETEL

Tiina Lätt, Triin Saue, Terje Tähtjärv

Maaelu Teadmuskus

Abstract. Lätt, T., Saue, T., Tähtjärv, T. 2023. Potato yield under different nitrogen treatments in 2022. – Agronomy 2023.

In 2019–2021, growing area of potato crop has been decreased by 40% in Estonia. Rise in input prices as well as green transition requirements have created a request for resistant potato varieties with lower fertilization needs. The purpose of the current paper was to determine an optimal fertilization rate for some perspective potato varieties grown on a calcium soil. 7 varieties/breed were planted at METK Kuusiku Experimental Centre in 2022. Three fertilization treatments in comparison with no-fertilization were included. Genotype 306-14 performed worst under all fertilization levels. The highest yields as well as the highest number of tubers per plant were achieved for fertilization treatment N40. Keywords: soil, N fertilizer, potato genotypes.

Sissejuhatus

Eestis on kartulikasvatus järjekindlalt vähenenud. Perioodil 2019–2021 on Eestis kasvatatava kartuli toodang vähenenud 40% ehk 91–54 kg-ni elaniku kohta (Statistikaamet). Kartuli kasvupind on vähenenud 37%, 5336–3353 hektarile (Statistikaamet). Elukalliduse tõusu tõttu on 2022. aastal siiski tõusnud elanikkonna huvi kasvatada oma tarbeks väikestel pindadel kartulit ja muid aiasaadusi (Tartu Postimees, 26. mai 2022). Kartuli sordiaretusega on Eestis tegeletud üle 100 aasta, mille jooksul on registreeritud 47 uut kartulisorti (Tsahkna, Tähtjärv, 2020). Sisendite kallinemine, rohepööre ja uue Sordiaretusprogrammi eesmärgid (Sordiaretusprogramm 2020–2030) suunavad valima kasvatamiseks sorte, mis vajaksid vähem väetist, oleksid haigustele resistentsemad ning vajaks vähem taimekaitset.

Kartuli saagikust mõjutavad lisaks sordile oluliselt kasvuperioodi sademed, temperatuur ja valgus, samuti mullatüüp, -lõimis ja agrotehnoloogia (Tein jt, 2014, Tsahkna jt, 2020). Kartul on väga tundlik veepuudusele – vähene mullaniiskus alandab nii mugulasaaki kui ka saagi kvaliteeti (Porter jt, 1999). Eesti tingimustes vajab kartul keskmiselt 240 mm sademeid vegetatsiooniperioodi jooksul (Saue, Kadaja, 2014).

Hollandis läbiviidud katses täheldati, et suurem lämmastikväetise kogus vähendab kartuli mugulasaagikust (Tiemens-Hulscher jt, 2014), teiselt poolt on Šveitsis tehtud uuringutes leitud, et lämmastikuga väetamine mõjub mugulasaagile ja mugulate suurusele (> 70 mm) positiivselt (Maltas jt, 2018). Juhendi „Keskkonnasäästlik majandamine hea põllumajandustava kohaselt“ järgi on 40 t ha⁻¹

kartulisaagi saamiseks optimaalne lämmastikukogus 160 kg ha⁻¹, seda koos mullas oleva taimele omastatava lämmastiku hulgaga (Järvan jt, 2019).

Katse eesmärgiks oli välja selgitada optimaalne väetusfoon kartuli kasvatamiseks leostunud rähksel saviliiv mullal silmas pidades keskkonnasäästlikust. Uurimuses kasutati erinevaid kartuli aretisi ja kahte enamlevinud Eesti sorti.

Materjal ja meetodika

Kartuli võrdluskatse erinevate sortide/aretiste ja lämmastiku(N)normidega viidi läbi 2022. aastal Rapla maakonnas, PMK Kuusiku katsekeskuse katsepõllul, millel oli eelnevalt mustkesa. Uuringu teostajaks oli Eesti Taimikasvatuse Instituut (ETKI), tänane Maaelu Teadmuskeskus (METK). Katse rajati rähksele, leostunud (Ko) saviliiv lõimisega mullale huumushorisoni tüsedusega 25 cm. Mulla pH_{KCl} oli 6,1; C_{org} 2,0 %; P 167; K 89; Ca 1887 ja Mg 91 mg kg⁻¹. Vaatluse all oli viis aretist ja kaks kartuli sorti: keskvarajase saagiga 306-14 ('Birgit' × 'Quarta'), hilise valmimisega 2311-15 ('Magdalena' × 'Gala') ja keskvalmivad 'Tiina', 'Teele', 2169-14 ('Romera' × 'Granola'), 2937-14 ('Victoria' × 'Gala') ja 3015-15 ('Victoria' × 'Gala').

Katse rajati kolmes korduses NNA (*Nearest Neighbours Analyses*) meetodi järgi, neljas variandis N normiga 0-40-60-80 kg ha⁻¹ (tabel 1).

Põld kultiveeriti esimesel võimalusel 21.04 ja korjati kivid, teise kultiveeri-

Tabel 1. Väetisekogused kg ha⁻¹ vastavalt katsevariandi väetustasemele

Lämmastik	Cropcare N8-P11-K23	Axan 34,4
N0	-	-
N40	500	-
N60	500	58,1
N80	500	116,3

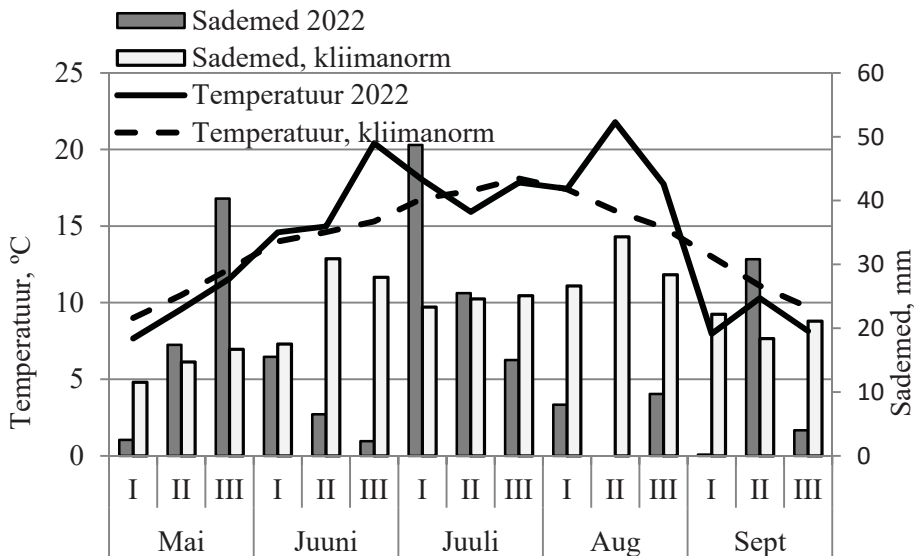
mise (17.05) järel aeti vaod ja planeeriti katse. Kartulipanek toimus 24.05, väetis külvati vagudesse päev enne kartuli mahapanekut. Katse kasvuareaks hooldamiseks mullati kaks korda 13.06 ja 29.06 ning lehemädaniku ennetavaks tõrjeks pritsiti kahel korral 18.07 ja 25.07 preparaadiga *Infinito 30ML* 1,6 l ha⁻¹. Kartuli saagi koristus toimus 22.09.

Ilmastiku iseloomustamiseks kasutatud ööpäeva keskmised temperatuurid ja sademete summad saadi katsepõllu lähedal asuvast Kuusiku meteoroloogiajaamast (Ilmateenistus.ee).

Katseandmed analüüsiti ühefaktorilise dispersioonanalüüsi meetodil (ANOVA, Fisher'i LSD test) programmi Agrobases (AgrobasesTM, 1999) abil.

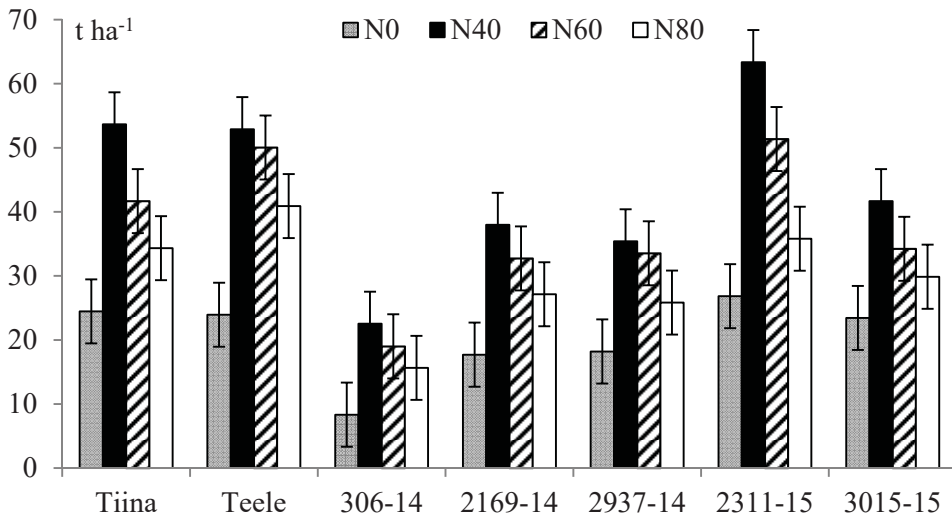
Tulemused ja arutelu

Ilmastik. 2022. aastal oli kartuli kasvuperiood Kuusikul keskmise õhutemperatuuri poolest normilähedane, kuid kuude lõikes erinev – maikuu oli keskmisest jahedam, juuni ja juuli esimene dekaad soojem, juuli lõpp taas jahe, august kuum ja september jahe (joonis 1). Eriti kuumad olid juuli viimane ja augusti teine dekaad, kui õhutemperatuur oli keskmisest 5–6 kraadi võrra kõrgem. Samal ajal kerkisid maksimaalsed õhutemperatuurid üle 30 kraadi, maapinnal veelgi rohkem. Kuusikul sadas perioodil mai–september 226,4 mm, mis moodustas 66% selle perioodi kliimanormist ehk sadas 117 mm normist vähem. Saue ja Kadaja (2014) mudeleksperimentis on varase kartulisordi veevajaduseks arvatud 280–300 mm ja pikema kasvuperioodiga sordil 310–340 mm. 2022. aastal jäi aga kartulil teoreetiliselt veevajadusest 70–80 mm puudu. Rohkem sademeid tuli juuli I dekaadil, mis on kartulile soodne mugulate moodustumise aeg. Augustis mugulate kasvamise ajal oli sademeid vähem ja mugulad ei kasvanud suureks.



Joonis 1. Keskmine õhutemperatuur (°C) ja sademete hulk (mm) dekaadide lõikes Kuusikul 2022. a kasvuperioodi vältel võrreldes kliimanormiga (1991–2020)

Saak. Katsevariandis N0 jäid saagid kõigil katsetatud sortidel/aretistel madalaks, jäädes vahemikku 8,3–26,8 t ha⁻¹. Kõige madalam oli saak aretisel 306-14 ja kõige kõrgem aretisel 2311-15. Aretise 306-14 saagid jäid kõigis väetusvariantides teistest madalamaks (joonis 2). Põllul tehtud vaatluste põhjal võisid seda põhjustada ebaühtlane tärkamine, tõusmepõletikuga nakatunud seemnemugulad või muud seemnega kaasnenud probleemid. Kõige suurema



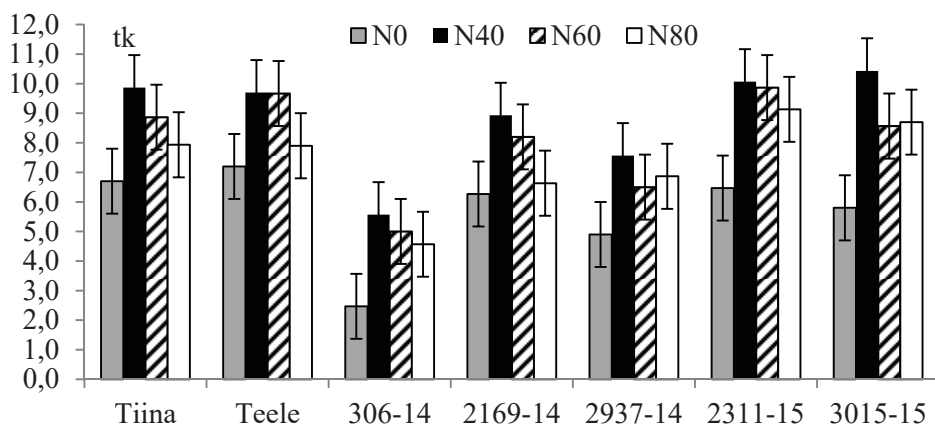
Vurrud joonisel näitavad piirdiferentsi ($PD_{0,05}$)

Joonis 2. Keskmise kartuli saagikus ($t\ ha^{-1}$) erinevate N variantidega 2022. aastal Kuusikul.

saagi andis N0 variandis aretis 2311-15, kuid see ei olnud statistiliselt usutavalt suurem teistest sortidest ja aretistest. Sort 'Teele' on andnud tavaviljeluse katsetes 0 väetusfooniga variandis varemgi arvestatava saagi (Eremeev jt, 2021). Väetusfoonil N40 saadi kõikidel katse liikmetel kõrgem saak võrreldes teiste väetusfoonidega. Aretis 2311-15 andis $63\ t\ ha^{-1}$ ning sordid 'Tiina' ja 'Teele' olid saagikusega $53,6$ ja $52,9\ t\ ha^{-1}$, ülejäänud aretiste saak jäi vahemikku $22,5$ – $41,6\ t\ ha^{-1}$, usutavat erinevust nende vahel ei olnud. Väetustasemel N60 vähenes saak võrreldes N40 väetustasemega sordil 'Tiina' 22% ja aretisel 2311-15 19%. Suurim saak ($51,7\ t\ ha^{-1}$) väetustasemel N60 oli aretisel 2311-15, ainult 5% saagi langus võrreldes väetusfooniga N 40 oli sordil 'Teele' ($50,0\ t\ ha^{-1}$) ja aretisel 2937-14 ($33,5\ t\ ha^{-1}$). Kõigi katseliikmete saak oli foonil N60 suurem kui N80.

Võrreldes väetusvariandiga N40 oli variantide N60 ja N80 keskmine saagikus vastavalt 14,6 ja 31,7% väiksem. Suurima mugulasaagi andis aretis 2311-15 katsevariandis N40, kuid N80 jäi see 43,5% väiksemaks.

Mugulate arv. Võrreldes aretiste ja sortide mugulate arvu pesas, oli madalam tulemus aretisel 306-14, varieerudes 2,5–4,6 mugula vahel, usutav erinevus oli kõikide katse liikmetega ainult N0 variandis (joonis 3). Ka varasemates katsetes on olnud aretise 306-14 mugulate arv pesas väike (Tähtjärv, Tamm, 2022). Variantides N40 ja N60 ei mõjutanud väetamine mugulate arvu sordil 'Teele' (9,7) ja aretisel 2311-15 (10,0). Aretistel 2311-15 ja 3015-15 lämmastikunormiga N80 väetamisel ei muutunud usutavalt mugulate arv pesas võrreldes variandiga



Vurrud joonisel näitavad piirdiferentsi ($PD_{0,05}$)

Joonis 3. Keskmise kartuli mugulate arv pesas erinevate N normidega Kuusiku katses 2022. aastal

N60. Ülejäänud katseliikmetel variandis N80 oli mugulate arv pesas väiksem, aga erinevus ei olnud usutav. Šveitsis läbiviidud katse kontrollvariandi (N0) ja suure lämmastikunormiga (N200) väetamisel vähenes turustatava mugulasaagi osakaal, kuid optimaalseks peetakse normi N125 (Maltas jt, 2018). Kuusikul tehtud katses oli suurim mugulate arv pesas (9,7–10,4) väetusfoonil N40 sortidel 'Tiina' ja 'Teele' ning aretistel 2311-15 ja 3015-15.

Kokkuvõte

2022. aastal Kuusikul läbiviidud erinevate väetusvariantidega kartuli katses oli kõikidel katseliikmetel suurim saak väetusvariandil N40, samal väetusfoonil oli suurim ka mugulate arv pesas. Tulemuste õigsuse kontrollimiseks erinevates ilmastikuoludes oleks vaja katset korrata pikema perioodi jooksul.

Kasutatud kirjandus

Eremeev, V., Margus, K., Kuht, J., Talgre, L., Alaru, M., Runno-Paurson, E., Luik, A. 2021. Kartulisort 'Teele' mahe- ja tavaviljeluse süsteemide võrdluskatses aastatel 2018–2020. Põllumajandus ja keskkond. Toimetised, lk 41–46.

Ilmateenistus.ee

Järvan, M., Koppel, M., Päädam, R. 2020. Hea põllumajandustava. – Eesti Taimekasvatuse Instituut. Maaeluministeerium.

Maltas, A., Dupuis, B., Sinai, S. 2018. Yield and Quality Response of Two Potato Cultivars to Nitrogen Fertilization. – European Association for Potato Research. Potato Research (2018) 61, pp 97–114.

- Porter, G.A., Bradbury, W. B., Sisson, J.A., Opena, G.B., McBurnie, J.C. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield, and quality – *Agronomy Journal*, vol 91, Issue 3, pp 416–425.
- Saue, T., Kadaja, J. 2014. Water limitations on potato yield in Estonia assessed by crop modelling. – *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 194, pp 20–28.
- Sordiaretuseprogramm 2020–2030. <https://etki.ee/projektid/sordiaretuseprogramm-2020-2030/stat.ee>. <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/pollumajandus-kalandus-ja-jahindus/pollumajandus> (12.01.2023)
- Statistikaamet. https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__pellumajandus__pellumajandussaaduste-tootmine__taimekasvatussaaduste-tootmine/PM061/table/tableView-Layout2 (22.12.2022)
- https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__pellumajandus__pellumajandussaaduste-tootmine__taimekasvatussaaduste-tootmine/PM0281 (22.12.2022)
- <https://tartu.postimees.ee/7531027/kriisid-tostsid-potipollunduse-taas-ause> (12.01.2023)
- Tein, B., Kauer, K., Eremeev, V., Luik, A., Selge, A., Loit, E. 2014. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. – *Field Crops Research*, 156, pp 1–11.
- Tsahkna, A., Tähtjärv, T. 2020. Kartul. Eesti Taimikasvatuse Instituut 100. Koostaja A. Bender, Jõgeva 2020, lk 87–91.
- Tiemens-Hulscher, M., Lammerts van Bueren, T. E., Struik, C. P. 2014. Identifying nitrogen-efficient potato cultivars for organic farming. – *Euphytica* 199, pp 137–154.
- Tähtjärv, T., Tamm, S. 2022. Perspektiivsete kartuliaretiste saagikus sõltuvalt aastast. – *Agronoomia* 2022, lk 118–122.

TAIMEKAITSE

KEEMILISTE TAIMEKAITSEVAHENDITE KASUTAMISE TRENDID

Mati Koppel, Anne Must, Karin Nurme

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Koppel, M., Must, A., Nurme, K. 2023. Trends in use of plant protection products. - Agronomy 2023.

Part of the “Farm to Fork” strategy, reducing chemical pesticides by 50% by 2030 is set as one of the goals. The current paper analyzes the trends of acreage of cultivated crops and use of plant protection products in Estonia in the period 2011–2020. Unlike the rest of the EU the area of cultivated land has increased for 0,8% in Estonia during the analyzed period. In this period the acreage of cereals has increased 21% and of pulses 4,3 times, these are the crops requiring higher inputs of crop protection. These are the main reasons behind the 20% increase in the pesticide usage. Despite this Estonia is among 4 EU member countries with lowest consumption of pesticides per hectare. In 2019 on average 0,91 kg of plant protection products per hectare of agricultural land was used. Pesticides sold in Estonia count only 0,19% from total pesticide sales in the EU. In terms of the categories of pesticides sold in Estonia, the highest sales volumes were for herbicides with 73% in Estonia. Considering the high importance of herbicides in Estonia, a 50% reduction in their use would lead to strong weeding of fields and the accompanying decrease in yield and increase in harvesting costs. The 20-25% reduction of pesticide use would be possible through maximum implementation of different tools of integrated pest management in the majority of years without essential yield loss according to the expert opinion of the authors of the current paper.

Keywords: plant protection products, reduction, integrated pest management

Strategias „Talust taldrikule“ on seatud eesmärgiks vähendada aastaks 2030 pestitsiidide kasutamist 50% võrra. Euroopa Liidus kogutakse ühtse metoodika alusel statistilisi andmeid turustatavate taimekaitsevahendite kohta alates 2011. aastast. 50% vähendamise arvestused lähtuvad referentsperioodil 2011–2013 turustatud kogustest. Käesoleva artikli eesmärk on analüüsida keemiliste taimekaitsevahendite (edaspidi TKV) kasutamist Eestis eelmisel kümnendil, seda mõjutanud tegureid ja hinnata TKV vähendamise võimalusi. Analüüsides on kasutatud Eesti Statistikaameti, Eurostati ja Maailmapanga andmeid põllumajandusliku maakasutuse ja turustatud taimekaitsevahendite koguste kohta.

Põllumajandusmaa osakaalu suurenemine

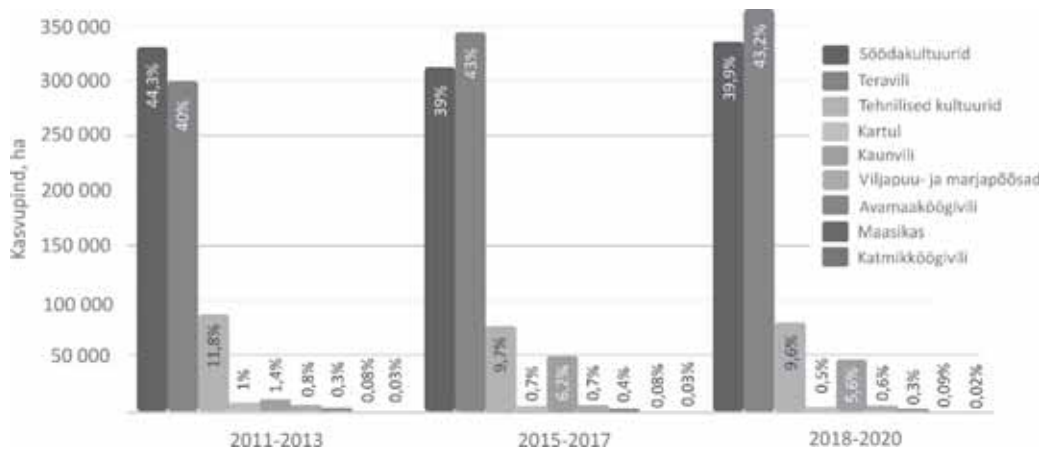
Maailmapanga andmetel oli põllumaa osatähtsus riigi pinnast 2018. aastal Eestis 15,8%, EL keskmisena 24,7%. Sellega on Eesti väiksema põllumaa osatähtsusega liikmesriikide hulgas. Suurima põllumaa osatähtsusega EL liikmesriik on Eestiga ligilähedaselt sama kogupindalaga Taani – 59,8%. Eesti põllumaa

moodustab 0,7% Euroopa Liidu põllumaast. Põllumaa osatähtsusega on otseselt seotud põllumajandustootmise koormus looduskeskkonnale. Nelja suurema EL liikmesriigi (Prantsusmaa, Hispaania, Saksamaa ja Itaalia) osakaal EL põllumaast on 49% ning neis turustatakse üle kahe kolmandiku TKV (Jalli jt, 2021). Kui kogu Euroopas on trend põllumaa vähenemisele, siis Eestis on sel sajandil olnud pidev trend põllumaa osatähtsuse suurenemisele. Perioodil 2011–2018 suurenes Maailmapanga andmetel põllumaa osatähtsus Eestis 0,8% (73911 hektari e 11,9% võrra), samal ajal toimus EL-s vähenemine 0,7%.

Muutused põllukultuuride kasvupindades

Eesti kliimaatilised tingimused ja mullastik on sobilik teravilja, eriti rukki kasvatamiseks. 2018.–2021. aastal kasvatati teravilja keskmiselt 363000 hektaril, mis moodustab 43,3% kasutatavast põllumajandusmaast; kaunvilja 47100 hektaril, mis moodustab 5,6% ja tehnilisi kultuure 80800 hektaril, mis moodustab 9,6% kasutatavast põllumajandusmaast (joonis 1). Võrreldes aastate 2011–2013 keskmisega suurenes teravilja kasvupind 21%, kaunviljade kasvupind suurenes 4,3 korda, seda paljuski ühtse pindalatoetuse rohestamise nõuete täitmise tõttu. Tehniliste kultuuride (peamiselt raps ja rüps) kasvupind vähenes 8,5%. Kartuli kasvupind vähenes 2 korda. Puu- ja köögiviljad hõlmasid alla 0,5% põllumajandusmaast.

Statistikaameti andmeil on võrreldes perioodiga 2011–2013 suurenenud nii talinisu, -odra kui ka -rapsi kasvupinnad. Tulenevalt suuremast saagikusest on niisugi kui ka rapsi puhul muutunud talivormi kasutamine eelistatud tootmisviisiks.



Joonis 1. Põllukultuuride kasvupinnad Eestis, 2011–2013, 2015–2017 ja 2018–2020 keskmistena. Protsentiarvud tähistavad vastava kultuuri osatähtsust kasutatavast põllumajandusmaast. Allikas: Statistikaamet PM0281

Võrreldes 2011. aastaga on nisul talivormi külvipinna osatähtsus suurenenud 23% ja rapsil 47,1%. Seniste trendide jätkudes on ilmselt 2030. aastaks talikultuuride osakaal veelgi suurenenud, ent tõus on aeglasem ja mõlemal kultuuril jäävad alles ka suvivormid.

Keemiliste TKV kasutus ja selle trendid

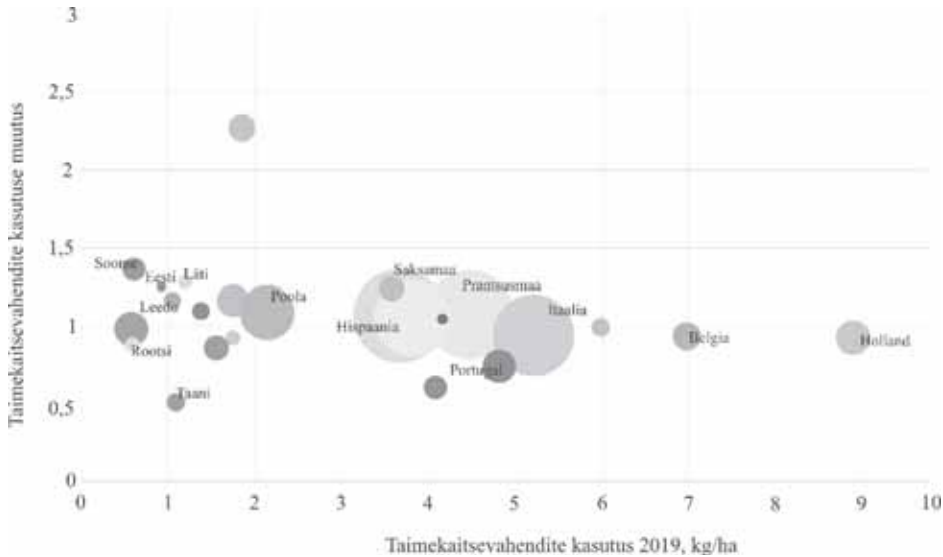
TKV kasutatakse peale põllumajanduse ka metsanduses, puidutöötluses, maantee- ja raudteeservade korrashoiul ning parkides. Samuti võib mõningaid TKV kasutada ka koduaias. Statistika puudumise tõttu ei ole võimalik eristada andmeid, kui suur osa TKV kasutatakse põllumajandusmaal ja milline osa mitte-põllumajanduslikel aladel. Euroopa Liidu analüüsidest arvestatakse kogu turustatud TKV põllumajandusliku kasutuse hulka.

Referentsperioodil 2011–2013 turustati keskmiselt 525869 kg TKV aastas ja perioodil 2018–2020 671273 kg. Seega oli suurenemine 20,3% ning TKV kasutus on suurenenud kõigis gruppides. TKV kasutuse suurenemine on paljuski tingitud kasutatava põllumaa üldisest (11,9%) suurenemisest perioodil 2012–2020 ning muutustest kasvatatavate kultuuride profiilis. Enamuse suurtel pindadel kasvatatavate kultuuride pinnad on võrreldes 2011. aastaga oluliselt suurenenud – teraviljad 21%, kaunviljad 4,3%. Taliteraviljade kasvatamisel kasutatakse tulevalt vajadusest tõrjuda talvitumishaigusi TKV mõnevõrra rohkem kui suviteraviljadel. Talirapsil on vastupidiselt TKV kasutus väiksem, kuna puudub vajadus suvirapsi tugevalt kahjustavate hiilamardikate ja kapsakoi korduvaks tõrjeks.

Samas on Eesti Euroopa Liidus viie kõige vähem TKV kasutava riigi hulgas. Eestis kasutati 2019. aastal keskmiselt põllumajandusmaa hektari kohta 0,91 kg TKV, Eestist väiksem TKV kasutus oli ainult Soomes, Rootsis ja Rumeenias. Eurostati andmetel on näiteks Eestis võrreldes Hollandiga turustatud TKV kogus põllumajandusmaa hektari kohta ligi seitse, Hispaaniaga üle nelja ja Poolaga võrreldes üle kahe korra väiksem (joonis 2). Eestis turustatavate TKV kogus moodustab vaid 0,19% Euroopa Liidus müüdavate TKV kogumahust. Üldkoguselt kasutatakse Eestist vähem TKV ainult väikeriikides Maltal ja Luksemburgis. Viis suuremat TKV kasutajat Hispaania, Prantsusmaa, Itaalia, Saksamaa ja Poola kasutavad üle 75% Euroopa Liidus turustatavatest TKV.

Ajaperioodide 2011–2013 ja 2018–2020 võrdluses on EL-s TKV kasutamine kõige enam vähenenud Taanis 42,4%. Eesti ja Läti on samal perioodil viie TKV kasutamist suurendanud liikmesriigi seas. Taani TKV kasutamise tegevuskavas seati eesmärgiks vähendada võrreldes 2011. aastaga 2015. aastaks TKV kasutamist 40% võrra (Pesticides strategy...). Eesmärgi saavutamiseks juurutati Taanis alates 2013. aastast uus TKV koormusindeksil (*pesticide load*) põhinev TKV maksustamissüsteem (Kudsk jt, 2018). Kõrgema koormusindeksiga TKV,

mis saadakse uude riskiindeksi ja kasutatava koguse korrutisena, maksustati indeksi suurusest sõltuva maksuga. Nii maksustati suurema riski ja suurema kasutusnormiga TKV kõrgema maksuga ja suunati põllumehi seeläbi kasutama väiksema riski ja kasutuskogusega TKV. Samal perioodil on TKV kasutus oluliselt vähenenud (24,1%) ka Tšehhi Vabariigis, kus võeti TKV tegevuskavas selge suund nende kasutamise vähendamisele (The National ...).

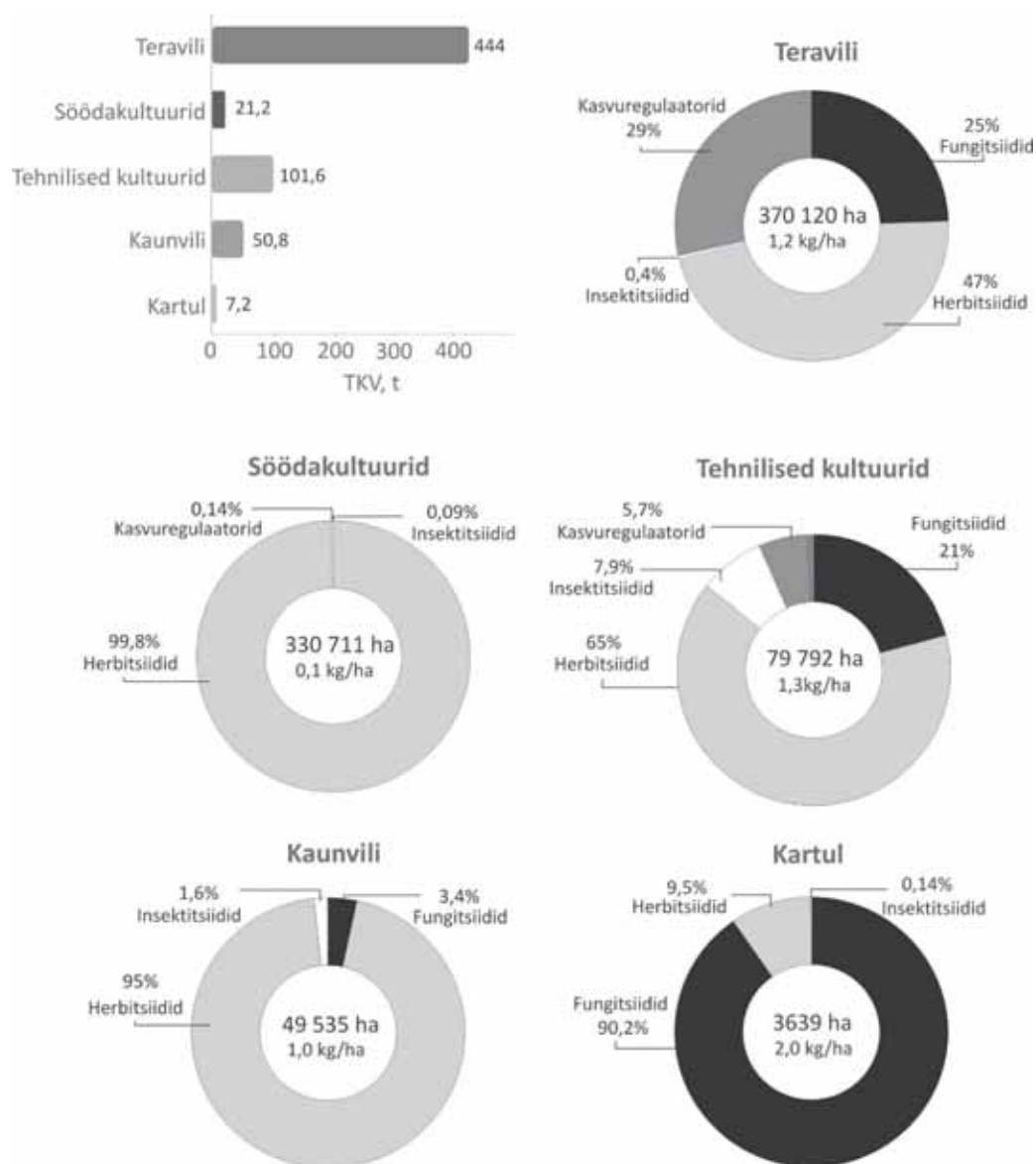


Joonis 2. Muutused TKV kasutuses EL liikmesriikides, 2011–2013/2015–2017. Mulli suurus tähistab TKV osatähtsust kogu EL TKV kogusest. Allikas: Eurostat

Statistikaameti andmeil moodustasid Eestis turustatud TKV aastatel 2018–2020: 73% herbitsiidid, 10% fungitsiidid, 13% kasvuregulaatorid ja 4% insektitsiidid. Viimase kümne aasta jooksul on pisut vähenenud herbitsiidide ja pea kaks korda suurenenud kasvuregulaatorite osatähtsus. Kasutatav fungitsiidide kogus on tugevalt ilmast sõltuv ja seetõttu esineb aastate lõikes ulatuslikku kõikumist.

Kasutatavate TKV proportsioonidelt on Eurostati andmeil Eestiga suhteliselt sarnased ka teised Põhja-Euroopa riigid – Rootsi, Taani, Iirimaa ja Lätti, keda kõiki iseloomustab herbitsiidide suur (üle 60%) ning insektitsiidide väike osatähtsus. Eestiga sarnane TKV kasutamise proportsioon on Tukes andmetel ka Soomes (Jalli jt, 2021). Lõuna suunas liikudes väheneb herbitsiidide osatähtsus pea viienetikuni (nt Itaalia, Hispaania), tuntavalt suureneb insektitsiidide osatähtsus ning olulisemaks TKV on fungitsiidid. Nelja riiki viiest suuremast TKV kasutajast iseloomustab suur fungitsiidide osatähtsus (33–55%).

Peamistel põllukultuuridel kasutati Eestis 2020. aasta andmetel (Statistikaamet KK2081) TKV hektari kohta tehnilistel kultuuridel 1,3 kg, teraviljal 1,2 kg ja kaunviljadel 1,0 kg (joonis 3).



Joonis 3. TKV kasutamine erinevatel põllukultuuridel Eestis 2020. aastal. Sõõri sees on välja toodud vastava kultuuri kasvupind ja TKV kogus põllumaa ha kohta. Allikas: Statistikaamet KK2081

Enim TKV hektari kohta kasutatakse kartulikasvatuses $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$, sellest 90% on fungitsiidid ja 9,5% herbitsiidid. Kõige vähem TKV kasutatakse söödakultuuridel ($0,1 \text{ kg ha}^{-1}$), millest 99,8% moodustavad herbitsiidid. Herbitsiide kasutatakse ulatuslikult ka kaunviljadel (95%), tehnilistel kultuuridel (65,9%) ja teraviljadel (46,6%). Insektitsiide kasutatakse märgatavas koguses

tehnilistel kultuuridel (8%) ja teraviljal (1,6%). Seejuures on selge puudus süsteemsetest insektitsiididest. Kuna peitelise eluviisiga taimekahjustajate tõrjumine on peaaegu võimatu, võivad taliteraviljadel ulatuda ripslaste tekitatud saagikaod 10%-ni ja suvirapsil maakirpude tekitatud saagikaod 20–30%-ni. Kasvuregulaatoreid kasutatakse ulatuslikult teraviljadel – ligi 29%. Vähesel määral kasutatakse kasvuregulaatoreid ka tehnilistel kultuuridel (5,8%).

Umbrohutõrjevahenditest turustatakse Eestis enam glüfosaadi sisaldavaid tooteid, aastal 2020 oli glüfosaadi osakaal 61% herbitsiididest (Taimekaitsevahendite ...). Sarnaselt mitmete teiste Euroopa Liidu liikmesriikidega on Eesti juba praegu seadnud mitmeid piiranguid glüfosaadi kasutamisele. Eestis keelati 2018. aastal glüfosaadi koristuseelne kasutus saagi närvutamise või kuivatamise eesmärgil. Keskkonnasõbraliku majandamise meetmega liitunud põllumajandustootjatel ei ole glüfosaadi sisaldavaid TKV põllukultuuridel ja köögiviljadel lubatud kasutada tärkamisest, istutamisest või mahapanekust kuni saagi koristamiseni. Samuti ei ole meetmega hõlmatud maadel lubatud kasutada glüfosaadi haljaskesal ja haljasväetiseks kasvatatavatel heintaimedel. Glüfosaadi asendamine selektiivsete herbitsiidide või nende segudega kaunviljade ja õlikultuuride põldudel muudaks umbrohutõrje oluliselt kallimaks. Teraviljapõldudel leviva tülika umbrohu – orasheina tõrjel ja rohumaade uuendamisel ei ole glüfosaadile alternatiive. Glüfosaadi kasutatakse laialdaselt ka otsekülvi ja minimeeritud mullaharimise puhul, kus sellele puuduvad alternatiivsed herbitsiidid. Künnipõhise mullaharimise kasutamine eelnimetatute asemel võimaldaks vähendada glüfosaadi kasutust, kuid suurendaks oluliselt CO₂ heidet ja vähendaks mulla süsinikuvaru.

Taimehaiguste ja -kahjurite levik varieerub aastati suures ulatuses ning nende vähema esinemise korral on võimalik oluliselt vähendada TKV kasutust. Umbrohutõrje on vajalik igal aastal ning siin on võimalused herbitsiidide kasutamise vähendamiseks piiratud. Arvestades herbitsiidide suurt osatähtsust Eestis viiks nende kasutamise 50% vähendamine põldude tugeva umbrohtumiseni ning sellega kaasneva saagi vähenemise ja koristuskulude suurenemiseni.

Võtted vähendamaks taimekahjustajate levikut ja nende tõrjevajadust

Taimekasvataja põhieesmärk on saavutada põllumajanduskultuuri maksimaalne saagikus võimalikult väikeste kuludega. Selle saavutamisele aitab kaasa ka integreeritud taimekaitse (ITK), mille eesmärk on TKV ja muude abinõude kasutamine majanduslikult ja ökoloogiliselt põhjendatud tasemel ning oleks minimaalse ohuga inimese tervisele ja keskkonnale. ITK ei välista keemiliste TKV kasutamist, kuid soodustab selektiivsete toodete kasutamist lähtudes monitooringu andmetest ja tõrjekriteeriumitest. Paljude ITK võtete senisest laialdasem

rakendamine aitaks oluliselt kaasa TKV kasutamise vähendamisele.

Viljavaheldus koos haljasväetis- ja vahekultuuride kasvatamisega vähendab taimekahjustajate levikut teravilja- ja rapsikasvatuses ja seega TKV kasutamise vajadust.

Künnipõhine maaharimine vähendab taimejäänustel säilivate haigustekitajate ning umbrohtude probleeme kõigil põllukultuuridel, kuid on seotud suureneva CO₂ emissiooniga minnes seetõttu vastuollu Euroopa roheleppe teise suure eesmärgiga. Läbi viidud uuringutes on mõõdetud, et mulla CO₂ emissioon suurenes künni puhul võrrelduna minimeeritud mullaharimisega 35–43% (Janos jt, 2014; Rutkowska jt, 2018). Võrrelduna otsekülviga võib CO₂ emissioon mullast suureneda isegi üle kahe korra (Krištof jt, 2014). Sellele lisandub veel suureneva kütuse- ja masintööde kuluga seotud emissioon.

Haiguskindlate sortide kasutamine on kõige odavam võtte fungitsiidide kasutamise vähendamiseks kõigil kultuuridel. Haiguskindluse arvestamine fungitsiidide kasutamisel võimaldab vähendada nende kasutuskordi ja -koguseid.

Haigusvaba seemne kasutamine. Seemnete eelnev fütopatoloogilise seisundi hindamine vähendab puhtimise vajadust. Keemiliste puhiste kasutamise alternatiivina on võimalik teraviljaseemnete termotöötlemine. Rootsisis väljatöötatud termoseed meetodit kasutatakse Rootsis, Norras ja Soomes.

TKV kasutamine vastavalt taimekahjustajate seirele. Tõrjevajaduse hindamiseks soovitatakse kahjurite püüniste kasutamist. Püüniskausside, liimpüüniste või feromoonpüüniste kasutamine võimaldab tuvastada kahjurite ilmumise põllule ja täpselt ajastada insektitsiidide kasutamist vältides sellega mittevajalikke pritsimisi.

Monitooringusüsteemi andmete kasutamine. ETKI korraldab alates 2014. aastast taimekahjustajate seiret põhilistel põllukultuuridel. Seire tulemused avaldatakse operatiivselt kodulehel www.etki.ee/monitooring koos informatsiooniga taimekahjustajate tõrjevajaduse tekkimisest piirkonnas. Monitooringu info laialdasem rakendamine võimaldab TKV kasutamise täpset ajastamist ja vähendab seeläbi nende vajadust. Tõrjekriteeriumide arvestamine taimekaitseotsuste tegemisel välistab pritsimised taimekahjustajate vähesel esinemisel ja vähendab seeläbi TKV kasutamist.

Taimekahjustajate prognoosi- ja risikimudelite kasutamine. Eestis arendati aastatel 1999–2012 põldkatsetes veebipõhist taimekaitse nõuandesüsteemi I-Taimekaitse. I-Taimekaitse kasutamisel ei vähenenud enamusel aastatel põldkatsetes 50–60% vähendatud kulunormide kasutamisel teraviljahaiguste ja umbrohtude tõrje efektiivsus. Taimekahjustajate prognoosi- ja risikimudelite kasutamise olulisust TKV vähendamise strateegiate ellurakendamisel on rõhutatud ka Soome ja Hollandi teadlaste koostatud hinnangutes (Jalli jt, 2021; Bremmer jt, 2021).

Madala riskiga TKV kasutamine. Kuigi aastatel 2011–2019 suurenes EL-s turustatud madala riskiga TKV kogus viis korda, olles 2019. a 160 tonni, moodustasid need ainult 0,05% kõigist turustatud TKV. Mitte-keemilisi TKV turustati 2019. a EL-s kokku 510 tonni. 2022. aasta alguses oli EL-s registreeritud (EL TKV andmebaas) ainult 36 madala riskiga toimeainet (*low risk substance*), millest enamuse moodustavad valdavalt köögiviljadel ning puuviljadel ja marjakultuuridel kasutatavad fungitsiidid. Eestis suurima kasutusega herbitsiidide osas puuduvad madala riskiga toimeained. Eestis on registreeritud ainult kolm madala riskiga toimeainet, millest ainsana on põllukultuuridel arvestatavates kogustes kasutatud raudfosfaadil põhinevaid molluskitsiide nälkjate ja tigude tõrjeks. Verejahul põhinevad TKV-d on kasutatavad loomade peletamiseks puukoolides ja metsaistandustes ning seenpreparaati *Gliocladium catenulatum* J1446 sisaldavad Prestop ning Prestop Mix on kasutatavad taimehaiguste tõrjeks kasvuhoonetes ja aianduses. Mittekeemilistest toimeainetest on meie metsanduses laialdasemat kasutust leidnud lambarasval põhinev Trico ulukite peletamisel ja kvartslüüv männikärsaka tõrjel. EL-s registreeritud madala riskiga TKV võiks Eestis teraviljahäiguste tõrjel kasutust leida Laminarin ja rapsi valgemaädaniku tõrjel *Coniothyrium minitans*.

Arvestades praegust madala riskiga ning mittekeemiliste TKV arvu ja senini Eestis turustatud koguseid, mis ei ole Statistikaameti andmeil ületanud ühelgi aastal 0,1% TKV üldkogusest, ei saa lähiaastatel eeldada nende olulisel määral kasutamist põllukultuuridel ega ka arvestatavat mõju kasutatavate TKV kogustele.

Keemiavaba tõrje eelistamine TKV kasutamisele. Mehhaanilise umbrohutõrje kasutamine on võimalik köögiviljade, kartuli, maisi, aga ka talirapsi laia reavahega kasvatamisel. Suureneva CO₂ heite ning mulla süsinikuvaru vähendamise tõttu läheb aga mehhaanilise umbrohutõrje kasutamine vastuollu Euroopa roheleppe teise suure eesmärgiga.

Bioloogiliste preparaatide ja biotõrje ning mehhaaniliste võtete (katteloor, liimpüünised jms) kasutamine on TKV asendajatena võimalikud köögi- ja puuviljade kasvatamisel.

Taimekaitsevahendi kasutamine vajalikul tasemel. Triivi vähendavate otsakute või lisaseadmetega ning pritsimise ülekattet vältivate lisaseadmetega pritside kasutamine võimaldab vältida TKV sattumist mitesoovitavatele aladele ja seeläbi vähendada kasutatavaid TKV koguseid. Põllu osaline pritsimine on rakendatav eelõige põllukultuuride umbrohutõrjel.

Pritsimise ajastamine, pritsimine kõige efektiivsemal ajal (kahjurite leviku või taimehaiguste lööbimise algus; umbrohutaimede vastuvõtlik kasvufaas) võimaldab saavutada kõrge tõrjeefektiivsuse teaduslikult põhjendatud vähendatud kulunormide kasutamisel. Peaaegu kõigisse taimekahjustajate prognoosi- ja tõrjemudelitesse on integreeritud vähendatud kulunormide kasutamise moodulid.

Kokkuvõte

Kuna Eestis turustatavatest TKV moodustavad üle 70% herbitsiidid, siis viiks TKV 50% vähendamine põldude tugeva umbrohtumiseni ning sellega kaasneva olulise saagilanguse ja koristuskulude suurenemiseni. Artikli autorite hinnangul võiks ITK võtete maksimaalse kasutamisega enamusel aastatel vähendada TKV kasutamist 20–25%, ilma et see vähendaks oluliselt kultuuride saaki või kvaliteeti. Põhirolli omavad siin taimekahjustajate levikut vähendavad külvikorrad, monitooringusüsteem ja prognoosimudelid optimaalsete tõrjeaegade määramiseks koos vähendatud TKV normide kasutamisega ning ülekatteid ja triivi vältivate taimekaitsevadmete kasutamine.

Tänuavaldused

Analüüs on valminud Maaeluministeeriumi rahalisel toel.

Kasutatud kirjandus

- Bremmer, J., Gonzalez-Martinez, A., Jongeneel, R., Huiting, H., Stokkers, R., Ruijs, M. 2021. Impact Assessment of EC 2030 Green Deal Targets for Sustainable Crop Production.
- Eurostat: Pesticide sales 23.02.2022 https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_fm_salpest09/default/table?lang=en
- Jalli, M., Miettinen, A., Mutanen, A., Viitala, E., Ylioja, T., Poteri, M., Siimes, K., Virkkunen, H., Juntunen, J. 2021. Kemiallisten torjunta-aineiden käyttö ja tavallista haitallisempien torjunta-aineiden käyttö. Arvio EU:n biodiversiteettistrategian 2030 vaikutuksista Suomessa. Helsinki.
- János P., Rádics I., Fenyvesi L. 2014. Soil CO₂ Emission Induced by Tillage Machines. International Journal of Applied Science and Technology Vol. 4.
- Krištof, K., Šima, T., Nozdrovický T., Findura L. 2014. The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere. Agronomy Research 12(1), 115–120.
- Kudsk, P., Nistrup Jørgensen, L., Ørum, J.E.. 2018. Pesticide Load—A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. Land Use Policy 70: 384–393
- Protect water, nature and human health. Pesticides strategy 2013–2015
- Rutkowska, B., Szulca W., Sosulski T., Skowrońska M., Szczepaniak, J., 2018. Impact of reduced tillage on CO₂ emission from soil under maize cultivation. Soil and Tillage Research 180, 21–28.
- Statistikaamet PM0281: Põllumajandusmaa ja -kultuurid maakonna järgi <https://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?lang=et&DataSetCode=PM0281>
- Statistikaamet KK2081 https://andmed.stat.ee/et/stat/keskkond_pollumajanduskeskkond/KK2081/table/tableViewLayout2
- Taimkaitsevahendite kasutus ja mõjud Eestis 2020 p11 <https://www.agri.ee/sites/default/files/content/valjaanded/ulevaade-2020-taimkaitsevahendid.pdf>
- The National action plan to reduce the use of pesticides in the Czech Republic

MÕNEDE UMBROHTUDE VÕIMALIKUST HERBITSIIDIRESENSI- TENTSUSEST EESTIS ESMASTE SKRIINGUANDMETE ALUSEL

Silvia Pihu

Maaelu Teadmuskus

Abstract. Pihu, S. 2023. Possible herbicide resistance in some weed species in Estonia according to the preliminary screening data. – Agronomy 2023.

According to the preliminary screening data and few dose-response experiments it is proved that there is at least one tribenuron-methyl resistant Stellaria media population in Estonia. Regarding the other investigated species, the investigated biotypes of Bromus sterilis and Apera spica-venti from Estonia were not resistant to pyroxsulam. For Veronica persica, some tolerance to foramsulfuron seems to occur in both investigated biotypes from Estonia. For Avena fatua, there are some biotypes possibly resistant to pyroxsulam but the sample was too small and the result is not statistically significant. For Poa annua, there occurs tolerance to Tombo WG (pyroxsulam and florasulam) in one biotype and to Flight Forte (pendimethalin and picolinafen) in several biotypes. In most of the cases, investigation should be continued in a larger scale, using dose-response experiments, additionally resistance mechanisms should be studied.

Keywords: *Stellaria media, resistance, tribenuron-methyl*

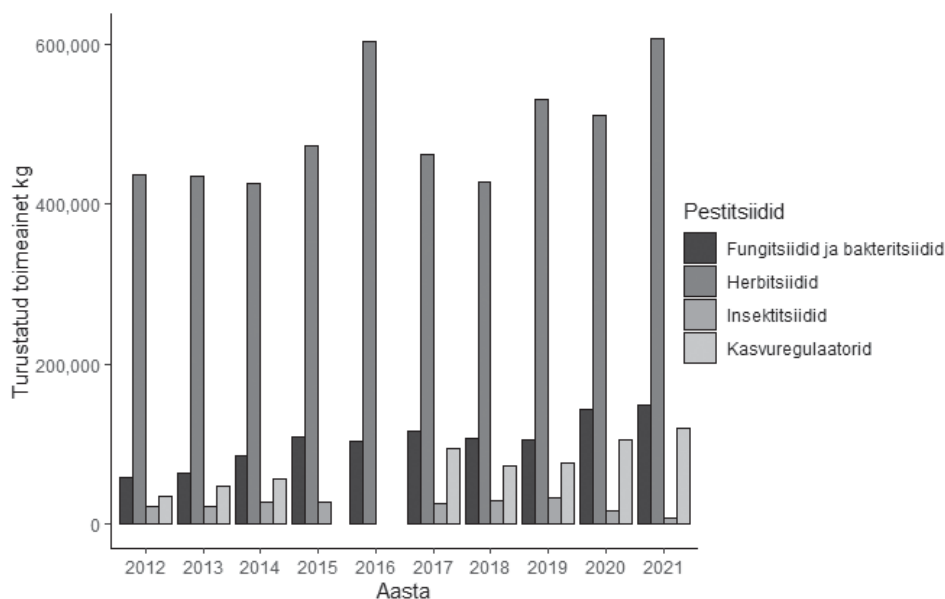
Sissejuhatus

Umbrohud on üks suuremaid ohte põllumajandussaaduste saagile (Ziska, 2020), kuna umbrohud konkureerivad samadele ressurssidele kui põllukultuurid ja põhjustavad sellega suurt saagikadu. Just seetõttu on herbitsiidid kõige enam kasutatav pestitsiidide rühm maailmas ja ka Eestis (joonis 1).

Seoses herbitsiidide laialdase kasutamisega on kiiresti evolutsioneerunud ka umbrohud – välja on kujunenud herbitsiidiresistentsus (Powles, Yu, 2010) ja see on maailmas järjest kasvav probleem (Heap, 2022).

Eestis ja lähemates naabermaades on herbitsiidiresistentsuse kohta suhteliselt vähe andmeid avaldatud. Lätist on teada kaks juhtumit, vesiheina (*Stellaria media*) ja rukkiheina (*Apera spica-venti*) kohta (Heap, 2023) ning Leedust samuti rukkiheina kohta (Auškalnienė jt, 2020). Soomest on ka teada kaks juhtumit, vesiheina (Uusitalo jt, 2013) ja valge hanemaltsa (*Chenopodium album*) kohta (Heap, 2023). Eestis on avaldatud üks teade kahara luste (*Bromus sterilis*) osalisest herbitsiiditolerantsusest, resistentsust siiski ei tõestatud (Pihu, 2022). Samas, probleem on tõenäoliselt ka siinkandis märksa laiem, kuid vähe uuritud, kuna näiteks Poolas on herbitsiidiresistentsus juba väga ulatuslik (Adamczewski jt, 2019) ja ka Rootsis on registreeritud juhtumite arv suurem (Heap, 2023).

“Talust taldrikule” strateegia (Farm to Fork Strategy, 2020) kohase pestitsiidide kasutuse vähendamise valguses on oluline omada ka Eestis ülevaadet,



Joonis 1. Eestis turustatud taimekaitsevahendid viimasel kümnendil Statistikaameti andmetel

milliste herbitsiidide suhtes on teatud umbrohud resistentsed, et vältida nende kasutamist ja sellega ära hoida üleliigne koormus keskkonnale.

Herbitsiidiresistentsus on teaduslikult defineeritud kui uustekkeline nähtus, mille tõestamine on selgelt reglementeeritud võrdlev protsess (Burgos jt, 2013), mis on küllaltki aja- ja materjalimahukas, ning tuleks ette võtta juhtudel, kui selleks on tekkinud eelneva info põhjal põhjendatud vajadus. Sellele võiks eelnevalt skriining (Beckie jt, 2000), väiksemahuline uurimus, millest saadud info põhjal saab edasi liikuda juba mõju-annuse katsete juurde resistentsuse tõestamiseks ning resistentsuse mehhanismide uurimiseks.

Käesoleva töö eesmärk oli saada skriiningu meetodil esmane vaade võimalikele herbitsiidiresistentsuse juhtumitele Eestis, et selle baasilt uurimisega edasi minna. Umbrohuliigid valiti lähtuvalt põllumajandustootjatelt ja agronoomidelt saadud infole ning naaberriikide juhtumitele tuginedes.

Uurimise alla võeti vesihein ja rukkihein, mis nagu eespool märgitud, on naaberriikides registreeritud resistentsusjuhtumitega, aga üpris problemaatilised ka mujal Euroopas (Košnarová jt, 2021; Marshall jt, 2010). Jätkati kahara luste uuringutega. Eesti põllumeestele on hästi tuntud problemaatilised liigid tuulekaer (*Avena fatua*) ja murunurmikas (*Poa annua*), mille resistentsusilmingud on palju laiemaltki tuntud (Adamczewski jt, 2013; Laforest jt, 2021). Pärsia mailane (*Veronica persica*) on samuti pälvinud meie põllumeeste tähelepanu. Mailast on kirjanduses mainitud nii võimaliku herbitsiidiresistentse liigina (Grignac, 1978)

kui ka resistentsuse osas väheohtriku liigina (Ngow jt, 2020), põhjalikumad uuringud puuduvad.

Herbitsiididest valiti peamiselt atsetolaktaadi süntaasi (ALS) inhibiitoreid sisaldavad preparaadid, mis on kogu maailmas üks enimkasutatavaid herbitsiidide rühmi ja ka kõige enam resistentsusjuhtumeid põhjustanud (Heap, 2023). Osa umbrohtude puhul katsetati ka mõnede sügiseseks töötluks soovitatavate herbitsiididega (erinevatesse rühmadesse kuuluvate toimeainetega).

Materjal ja meetodika

Materjali (umbrohtude seemned) koguti 2021. ja 2022. aasta välitöödel Ida-Eestist. 2022. aasta materjali jõudis katsetesse esialgu vähe (pärslia mailane ja vesihein, asukohad 123 ja 125). Ka seemnete kogus ja idanevus varieerusid, seega ei olnud võimalik kõigi kogutud proovidega katseid läbi viia.

Materjali kogumise asukohad jagunesid maakondade vahel alljärgnevalt:

- ▶ 1, 9, 83, 84, 101, 123 – Lääne-Virumaa;
- ▶ 14, 18, 78, 80, 106, 125 – Järvamaa;
- ▶ 88, 89, 94, 96, 99, 100 – Ida-Virumaa;
- ▶ 23, 68, 73, 86, 87 – Jõgevamaa;
- ▶ 60, 62 – Valgamaa;
- ▶ 51 – Põlvamaa;
- ▶ 57 – Võrumaa.

Liikide kaupa oli katsetes ja analüüsis materjali järgnevatest asukohtadest:

- ▶ vesihein – 14, 18, 125
- ▶ tumeroheline mailane – 123, 125
- ▶ kahar luste – 1, 9
- ▶ rukkihein – 60, 96
- ▶ tuulekaer – 73, 80, 83, 88, 100, 101, 106
- ▶ murunurmikas – 23, 51, 57, 60, 62, 68, 78, 84, 86, 87, 89, 94, 99.

Kasutati järgmisi kommertsiaalselt toodetavaid herbitsiide:

Tombo WG, mille toimeaineteks on püroksulaam 50 g kg⁻¹ ja florasulaam 25 g kg⁻¹ (ALS inhibiitorid) ning aminopüraliid 50 g kg⁻¹ (süntetiline auksiin), kulunorm 100–200 g ha⁻¹;

Granstar Pre(e)mia 50 SX, mille toimeaineks on metüültribenuroon 500 g kg⁻¹ (ALS inhibiitor), kulunorm 15–30 g ha⁻¹;

Flight Forte, mille toimeaineteks on pendimetaliin 320 g l⁻¹ (mikrotoobulite tekke inhibiitor) ja pikolinafeen 16 g l⁻¹ (fütoeni desaturaasi inhibiitor), kulunorm 1,5–2,5 l ha⁻¹;

Maister OD, mille toimeaineteks on foramsulfuroon 30 g l⁻¹ ja metüüljodosulfuroon-naatrium 1 g l⁻¹ (ALS inhibiitorid), kulunorm 1,5 l ha⁻¹;

Legacy 500 SC, mille toimeaineks on diflufenikaan 500 g l⁻¹ (fütoeni desaturaasi inhibiitor), kulunorm 0,06–0,2 l ha⁻¹.

Lisaks kasutati suuremates mõju-annuse katsetes, mis viidi läbi Tšehhi Maaülikoolis Prahas, rukkiheina ja kahara luste puhul seal turustatavat herbitsiidi Corello, mille toimeaineks on püroksulaam 75 g kg⁻¹ (ALS inhibiitor), kulunorm 125–250 g ha⁻¹. Vesiheina puhul kasutati ka seal Granstar Pre(e)mia herbitsiidi.

Eestis läbi viidud katsetes kasutati herbitsiidiga töötlemiseks tavalist pritsipudelit, arvutati pritsitav pindala, vastav herbitsiidi ja vee kogus, asetati pottides kasvatatavad taimed hajusalt valitud pindalale ning pritsiti valmistatud lahus võimalikult ühtlaselt kogu pindalale. Tšehhis läbiviidud katsetes kasutati täpsemini doseeritavat pritsimiskambrit. Pritsimine toimus vastavalt herbitsiidile kas kolme lehe või tõusmete staadiumis.

Herbitsiidi tasemena kasutati kulunormi kordseid, nt 0,3, 1 või 3-kordne kulunorm. Milline kulunorm aluseks võeti, on igal konkreetsel juhul märgitud. Kasutati 1–6 taset/herbitsiidi × liigi kohta olenevalt katsest.

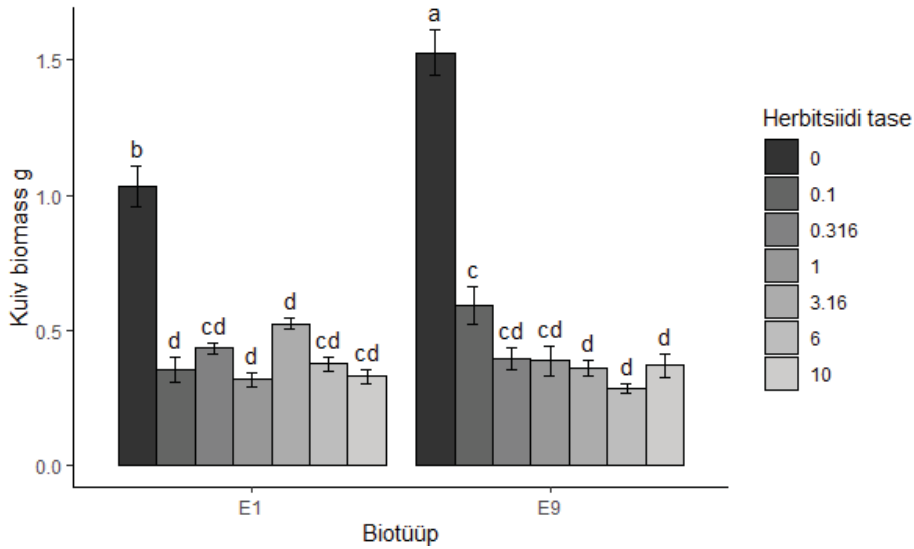
Katse lõpus, reeglina 21 päeva pärast töötlemist (±1–2 päeva) hinnati visuaalselt taimede ellujäämus protsentides poti kohta, lõigati maha maapealne biomass, kuivatati ja hiljem kaaluti kuiv biomass poti kohta grammides ±5 mg täpsusega.

Andmete analüüsiks kasutati programmi R (R Core Team, 2022). Rakendati dispersioonanalüüsi (ANOVA) koos keskmiste võrdlemisega vähima olulise erinevuse (LSD) meetodil.

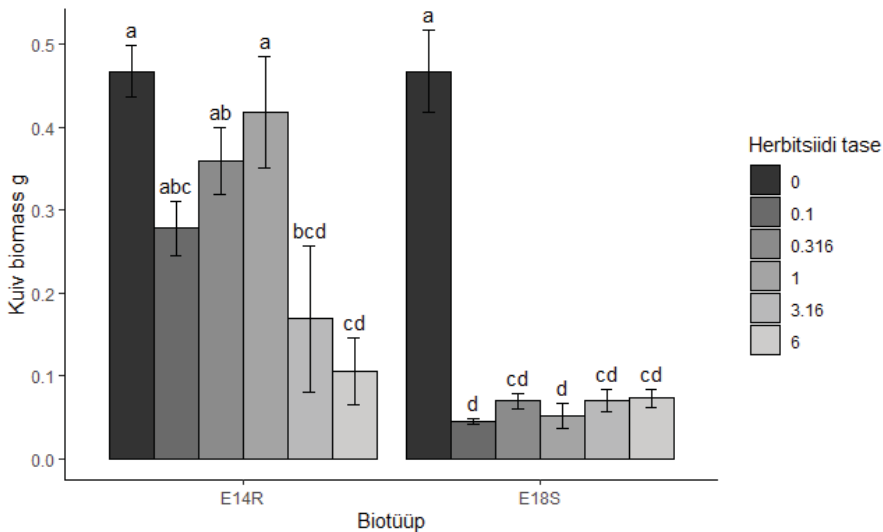
Tulemused ja arutelu

Kahara luste põhjalikum ja täpsema doseerimisega mõju-annuse katse näitas, et kuigi esialgsetes katsetes ilmnes mõningast tolerantsust (Pihu, 2022), siis resistentsust Eesti biotüüpidel ikkagi ei ole (joonis 2). Ühest kümnendikust kulunormist alates oli biomassi langus märkimisväärne ja statistiliselt oluline. Seega, kuigi kahar luste oli resistentne ALS-inhibiitoritele mitmel pool Euroopas (Davies jt, 2020, Sen jt, 2021), siis Eestis arvatavasti resistentseid genotüüpe veel ei ole. Mõningane tolerantsus teatud herbitsiididele võib olla seotud kõrreliste üldise raskema tõrjutavusega, eriti teraviljades, mis nõuab herbitsiidi väga täpset nõuetekohast kasutamist.

Vesiheinal on resistentsusjuhtumid sulfonüüluureate suhtes Euroopas väga levinud, sh meie naaberriikides (Uusitalo jt, 2013; Heap, 2023). Resistentsusele metüültribenurooni suhtes ühes Järvamaa populatsioonis (nr 14) vihjas ka esmane eeluuring Eestis ning mõju-annuse katsega sai ka resistentsus tõestatud (joonis 3). Biotüüpide E14R ja E18S käitumine oli selgelt statistiliselt erinev. Vesiheina uurimist Eestis on vaja kindlasti jätkata, sest tõenäoliselt on resistentsus laiem ning tuleks selgitada selle levikut nii geograafiliselt kui ka erinevate

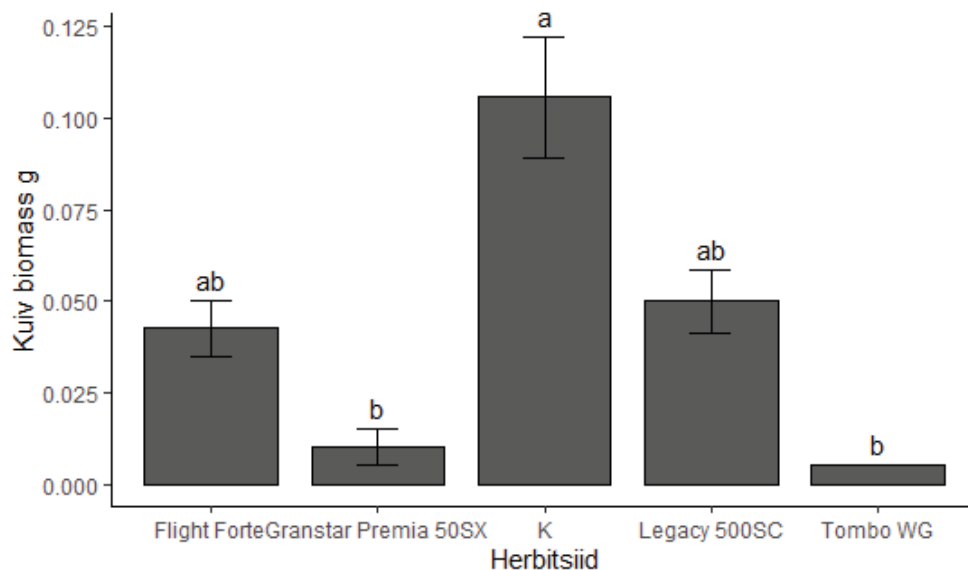


Joonis 2. Kahara luste (*Bromus sterilis*) kahe Eesti biotüübi tundlikkus pürok-sulaamiga töötlemisel (herbitsiid Corello). Ühekordseks tasemeks oli kulunorm 250 g ha⁻¹ (toimeainet 18,75 g ha⁻¹). Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe



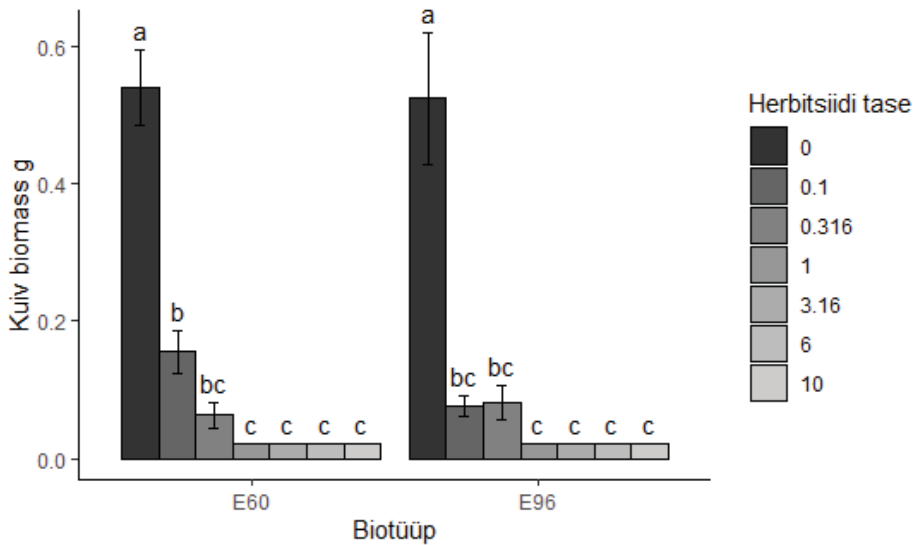
Joonis 3. Vesiheina (*Stellaria media*) resistentse (E14R) ja tundliku (E18S) biotüübi võrdlus töötlemisel metüültribenurooniga (Granstar Pre(e)mia 50 SX). Ühekordseks tasemeks oli kulunorm 20 g ha⁻¹ (toimeainet 10 g ha⁻¹). Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe

herbitsiidide suhtes. Resistentse laiema leviku puhul tuleks leida alternatiivseid kasutatavale herbitsiidile Granstar Pre(e)mia 50 SX. Eeluuringsnäitas, et ALS-herbitsiidide suhtes tundlik biotüüp E18S on teataval määral tolerantne herbitsiidide Flight Forte ja Legacy 500 SC suhtes (joonis 4), kuid see vajab täpsustavaid uuringuid.

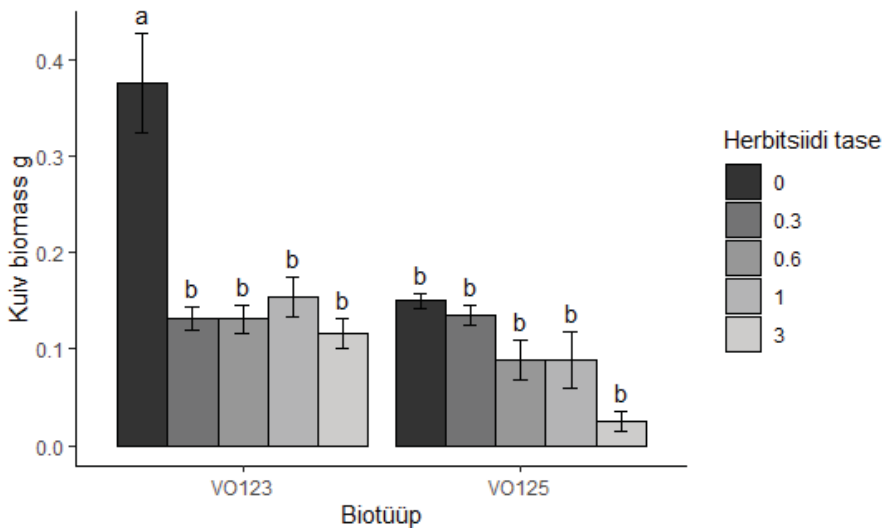


Joonis 4. Vesiheina (*Stellaria media*) biotüübi E18S (tundlik metüültribenuroonile) tundlikkus erinevate herbitsiidide suhtes. Herbitsiididel kasutati soovitud kulunorme (Flight Forte 2 l ha⁻¹, Granstar Pre(e)mia 50 SX 25 g ha⁻¹, Legacy 500 SC 200 g ha⁻¹, Tombo WG 200 g ha⁻¹). Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe

Vastupidiselt vesiheinale, kahe uuritud rukkiheina Eesti biotüübi osas mingit resistentsust püroksulaamile ei ilmnenud nii eelkatses ega ka mõju-annuse katses (joonis 5). Selles osas tuleb uuringuid suurema valimiga kindlasti jätkata, sest umbrohi on üsna laialt levinud ja nii Lätis kui ka Leedus on juhtumeid teada (Heap, 2023), samuti tuleks täiendavalt vaadelda erinevate toimeainete mõju. Pärsia mailase kahe Eesti biotüübi esialgse skriiningu põhjal võib vähemalt ühel neist esineda resistentsus maisil kasutatava herbitsiidi Maister OD suhtes (joonis 6). Kui biomassi järgi võiks resistentne olla biotüüp 125, siis ellujäämuse alusel pigem biotüüp 123 (avaldamata andmed). Seega tuleks uuringuid laiendada nii biotüüpide, herbitsiidide kui valimi suuruse osas ning parandada doseerimistäpsust, et resistentsust sellel liigil tõestada või ümber lükata. Kuigi taim on väikesekasvuline, võib ta rohke esinemise korral siiski konkureerida ressursside pärast.



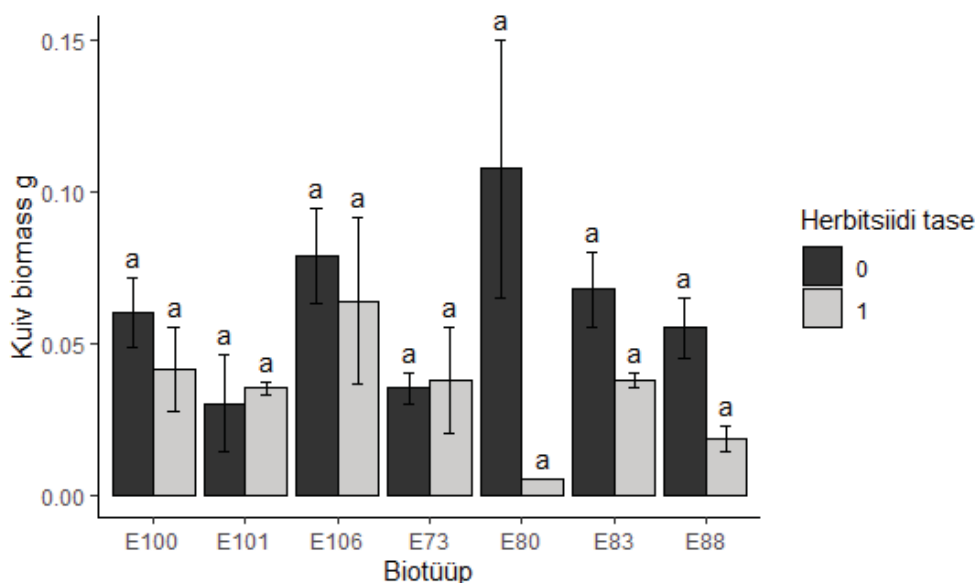
Joonis 5. Rukkiheina (*Apera spica-venti*) kahe Eesti biotüübi tundlikkus pürok-sulaami (herbitsiid Corello) suhtes. Ühekordseks tasemeks oli kulunorm 125 g ha⁻¹ (toimeainet 9,375 g ha⁻¹). Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe



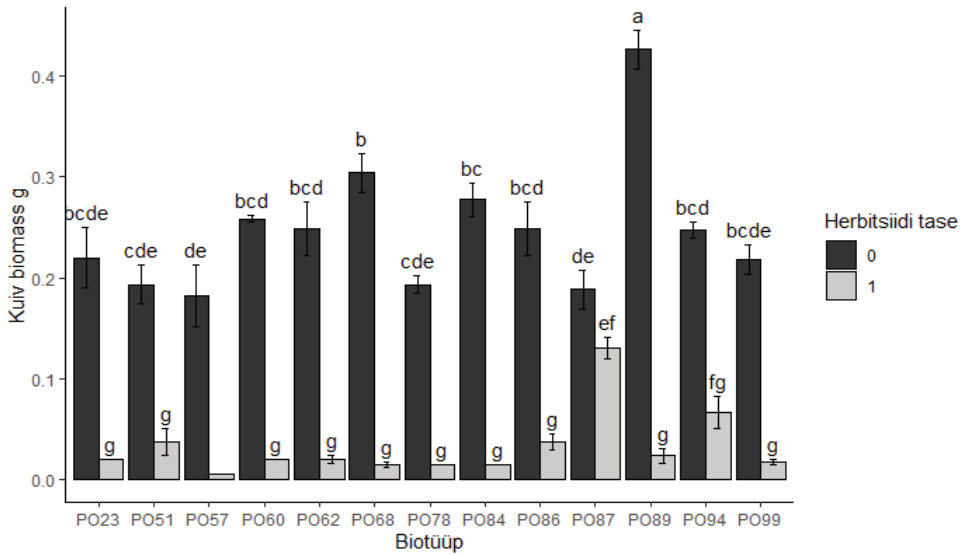
Joonis 6. Pärsia mailase (*Veronica persica*) kahe Eesti biotüübi tundlikkus her-bitsiid Maister OD suhtes (foramsulfuroon, jodosulfuroon). Ühekordseks tase-meks oli kulunorm 1,5 l ha⁻¹. Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe

Tuulekaer on leitud olevat resistentne mitme erineva herbitsiidide rühma suhtes ja juhtumeid on kirjeldatud üle maailma (Keith jt, 2015). Ka Eestis on tuulekaer umbrohuna suureks probleemiks. Esialgne uuring herbitsiidiga Tombo WG näitas, et enamik biotüüpe tunduvad olevat selle suhtes rohkem või vähem tolerantseid (joonis 7), kuid isendite väikse arvu tõttu ei olnud ükski erinevus statistiliselt oluline.

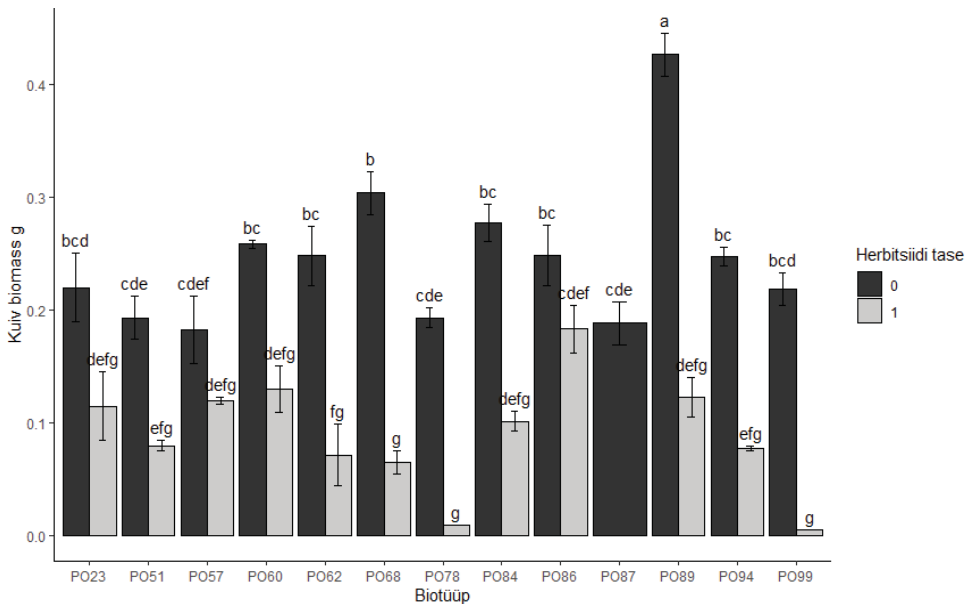
Murunurmikas on tuntud tülikas umbrohi ning resistsust on leitud mitmel mandritel (Laforest jt, 2021), kuid Euroopas on resistsust suhteliselt vähe uuritud. Murunurmika Eesti biotüüpidel katsetati kahte herbitsiidi: Tombo WG ja Flight Forte (joonis 8, 9). Tombo WG suhtes näitas tolerantst vaid üks biotüüp, aga Flight Forte suhtes üsna mitu. Resistsuse kindlakstegemiseks oleks vaja läbi viia mõju-annuse katsed suurema isendite arvuga ja lisada ka herbitsiide.



Joonis 7. Tuulekaera (*Avena fatua*) Eesti biotüüpide tundlikkus herbitsiidi Tombo WG (püroksulaam, florasulaam, aminopüraliid) suhtes. Ühekordseks tasemeks oli kulunorm 200 g ha⁻¹. Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid grupe



Joonis 8. Murunurmika (*Poa annua*) Eesti biotüüpide tundlikkus herbitsiidi Tombo WG (püroksulaam, florasulaam, aminopüraliid) suhtes. Ühekordseks tasemeks oli kulunorm 200 g ha⁻¹. Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe



Joonis 9. Murunurmika (*Poa annua*) Eesti biotüüpide tundlikkus herbitsiidi Flight Forte (pendimetaaliin, pikolinafeen) suhtes. Ühekordseks tasemeks oli kulunorm 2 l ha⁻¹. Tähed tähistavad statistiliselt erinevaid gruppe

Kokkuvõte

Eestis on tõestatud vähemalt üks herbitsiidiresistentsuse juhtum, metüültribenuroonile resistentne vesihein Järvamaal. Vaadeldud herbitsiidide suhtes ei leitud resistentust uuritud kahara luste ja rukkiheina populatsioonidel. Tolerantsust näitasid eeluuringutes mõnele herbitsiidile pärsia mailane, tuulekaer ja murunurmikas, mille uurimist tuleks kindlasti jätkata. Edasist uurimist leviku osas vajab ka vesiheina resistentus ning uurimise alla tuleks siiski võtta ka uusi populatsioone rukkiheinalt, sest naaberriikides on resistentusjuhtumeid registreeritud. Resistentusega toimetulekuks tuleb põllumajandustootjatele pakkuda alternatiivseid herbitsiide.

Tänuavaldused

Suurim tänu kuulub Tšehhi Maaülikoolile ja eriti dr Katerina Hamouzovale, kelle abiga sain Prahast läbi viia mõju-annuse katseid kahara luste, rukkiheina ja vesiheinaga. Tänu ka põllumajandusühistu Kevili agronomile, Tiiu Annukile, abi ja informatsiooni eest. Tänu ka retsensenti kasulike nõuannete ja paranduste eest.

Kasutatud kirjandus

- Adamczewski, K., Kierzek, R., Matysiak, K. 2013. Wild oat (*Avena fatua* L.) biotypes resistant to acetolactate synthase and acetyl-CoA carboxylase inhibitors in Poland. – *Plant, Soil and Environment* 59, pp 432–437.
- Adamczewski, K., Matysiak, K., Kierzek, R., Kaczmarek, S. 2019. Significant increase of weed resistance to herbicides in Poland. – *Journal of Plant Protection Research*, 59, pp 139–150.
- Auškalnienė, O., Kadžienė, G., Stefanovičienė, R., Jomantaitė, B. 2020. Development of herbicides resistance in *Apera spica-venti* in Lithuania. – *Zemdirbyste* 107, 99–104.
- Beckie, H.J., Heap, I.M., Smeda, R.J., Hall, L.M. 2000. Screening for Herbicide Resistance in Weeds. – *Technology* 14, pp 428–445.
- Burgos, N.N.R., Tranel, P.J.P., Streibig, J.J.C., Davis, V.V.M., Shaner, D., Norsworthy, J.K.J., Ritz, C. 2013. Review: Confirmation of Resistance to Herbicides and Evaluation of Resistance Levels. – *Weed Science* 61, pp 4–20.
- Davies, L.R., Onkokesung, N., Brazier-Hicks, M., Edwards, R., Moss, S. 2020. Detection and characterization of resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides in *Anisantha* and *Bromus* species in the United Kingdom. – *Pest Management Science* 76, pp 139–150.
- Farm to Fork Strategy. 2020. European Union. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf (16.01.2023)
- Grignac, P. 1978. The evolution of resistance to herbicides in weedy species. – *Agro-Ecosystems* 4(3), pp 377–385.

- Heap, I. 2023. The International Herbicide-Resistant Weed Database. <https://www.weedscience.org> (16.01.2023)
- Keith, B. K., Lehnhoff, E. A., Burns, E. E., Menalled, F. D., & Dyer, W. E. 2015. Characterisation of *Avena fatua* populations with resistance to multiple herbicides. – *Weed Research*, 55, pp 621–630.
- Košnarová, P., Hamouz, P., Hamouzová, K., Linn, A., Sen, M.K., Mikulka, J., Šuk, J., Soukup, J. 2021. *Apera spica-venti* in the Czech Republic develops resistance to three herbicide modes of action. – *Weed Research* 61, pp 420–429.
- Laforest, M., Soufiane, B., Patterson, E.L., Vargas, J.J., Boggess, S.L., Houston, L.C., Trigiano, R.N., Brosnan, J.T. 2021. Differential expression of genes associated with non-target site resistance in *Poa annua* with target site resistance to acetolactate synthase inhibitors. – *Pest Management Science* 77, pp 4993–5000.
- Marshall, R., Hull, R., Moss, S.R. 2010. Target site resistance to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas* and *Stellaria media* biotypes from the UK. – *Weed Research* 50, pp 621–630.
- Ngow, Z., Chynoweth, R.J., Gunnarsson, M., Rolston, P., Buddenhagen, C.E. 2020. A herbicide resistance risk assessment for weeds in wheat and barley crops in New Zealand. – *PLoS ONE* 15, e0234771.
- Pihu, S. 2022. Uus umbrohi Eestis – kahar luste (*Bromus sterilis*) ja selle herbitsiiditolerantsus. – *Agronomia* 2022. Eesti Maaülikool, Eesti Taimekasvatuse Instituut. lk 169–178.
- Powles, S.B., Yu, Q. 2010. Evolution in action: Plants resistant to herbicides. – *Annual Review of Plant Biology* 61, pp 317–347.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. [R]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/> (06.02.2023)
- Sen, M.K., Hamouzová, K., Mikulka, J., Bharati, R., Košnarová, P., Hamouz, P., Roy, A., Soukup, J. 2021. Enhanced metabolism and target gene over-expression confer resistance against acetolactate synthase-inhibiting herbicides in *Bromus sterilis*. – *Pest Management Science* 77, pp 2122–2128.
- Statistikaamet. Statistika andmebaas. <https://andmed.stat.ee/et/stat> (06.02.2023)
- Ziska, L.H. 2020. Climate Change and the Herbicide Paradigm: Visiting the Future. – *Agronomy* 10, 1953.
- Uusitalo, T., Saarinen, A., Mäkelä, P.S.A. 2013. Effect of Management of Sulfonylurea Resistant *Stellaria media* on Barley Yield. – *ISRN Agronomy* 2013, pp 1–5.

FUNGITSIIDIRESISTENTSUSE LEVIK VÕRKLAIKSUSE TEKITAJA *Pyrenophora teres f. teres* EESTI POPULATSIOONIS

Regina Pütsepp, Riinu Kiiker, Lee Põllumaa, Andres Mäe

Maaelu Teadmuskus

Abstract. Pütsepp, R., Kiiker, R., Põllumaa, L., Mäe, A. 2023. Fungicide resistance in net blotch causing pathogen *Pyrenophora teres f. teres* population in Estonia. – Agronomy 2023.

Net blotch of barley (net form), caused by the ascomycete Pyrenophora teres f. teres (Ptt), is currently the most economically damaging foliar disease of barley in Estonia and the whole Baltic region. Quinone-outside inhibitors (QoIs), demethylation inhibitors (DMIs) and succinate dehydrogenase inhibitors (SDHIs) represent three major fungicide classes that are used to control a broad range of relevant cereal pathogens. Monitoring of sensitivity to these fungicides is an essential tool to understand changes in fungal populations. A total of 152 isolates were studied in year 2022 to determine the half maximal effective concentration (EC50) of QoI fungicides pyraclostrobin and azoxystrobin, SDHI fungicides fluxapyroxad and bixafen and DMI fungicides prothioconazole-desthio and mefentrifluconazole. The sensitivity of Ptt to QoI-fungicides remained at a high level with the mean values of EC50 0,028 mg l⁻¹ to pyraclostrobin and 0,011 mg l⁻¹ to azoxystrobin. Sensitivity to fluxapyroxad and bixafen was decreased with the mean values of EC50 0,111 mg l⁻¹ and 0,307 mg l⁻¹, respectively. Sensitivity to DMI fungicide prothioconazole-desthio was mainly high with mean EC50 value 0,022 mg l⁻¹. Sensitivity to a new DMI fungicide mefentrifluconazole was the most decreased of all six fungicides tested, with the mean EC50 1,705 mg l⁻¹. In total 71% of isolates had reduced sensitivity to mefentrifluconazole. Although mefentrifluconazole is a new fungicide, the widespread use of triazoles and cross-resistance have probably led to reduced sensitivity of the Ptt population.

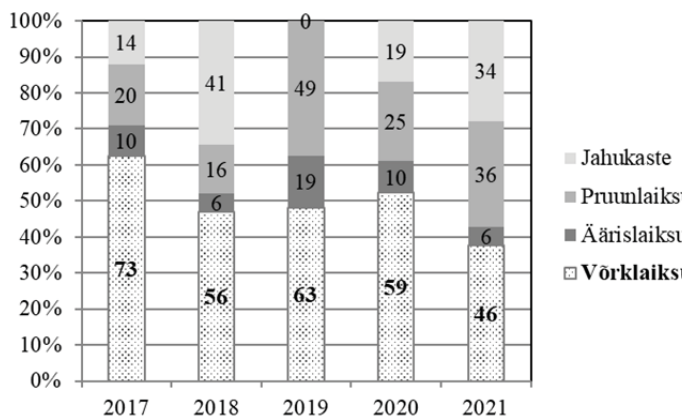
Keywords: fungicides, *Pyrenophora teres*, sensitivity, demethylase inhibitors, quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors

Sissejuhatus

Üheks enim majanduslikku kahju tekitavaks taimehaiguseks nii tali- kui ka suviadra puhul on globaalselt levinud võrklaiksus, mida põhjustab *Pyrenophora teres f. teres* (Ptt) (Liu jt, 2011). Ka Põhja- ja Baltimaades on võrklaiksus kõige tõsisemat kahju põhjustav haigus suviadral, seda eriti naabermaades Soomes ja Leedus, kus erinevad laiksused põhjustasid suurimat saagikadu võrreldes teiste Põhjamaadega ning võrklaiksus oli kõikidest laiksustest enim levinud (Jalli jt, 2020). Võrklaiksus esineb põllul tihtipeale kolletena, kust haigustekitaja tuule ja vihmapiiskade abil laiali levib. Võrklaiksuuse levikut soodustab suur õhuniiskus (70–90%) ning optimaalne õhutemperatuur on 15–20 °C. Massilise leviku korral võib võrklaiksus põhjustada arvestatavat saagikadu 10–40% (Minarikova, Polisenska, 1999). Viimaste aastate (2017–2021) üle-eestilise taimekahjustajate monitooringu tulemused on näidanud, et sõltuvalt aastast oli 46–73% suvi-

odrapõldudest nakatunud võrklaiksusesse (joonis 1). Võrreldes teiste odral esinevate haigustega nagu jahukaste, äärislaiksus, pruunlaiksus jm, on võrklaiksus kõige sagedamini esinev haigus odral ka Eestis (Sooväli, Koppel, 2017; Kiiker, Sooväli, 2021).

Need vaatlustulemused viitavad sellele, et *Ptt* on kohastunud meie kliimaga ja kasvatatavad odrasordid on võrklaiksusele vastuvõtlikud. Võrklaiksus levib põhiliselt eostega, aga võib edasi kanduda ka seemnetega ning nakatunud taimejäänustega. Haiguse püsimisele aitab kaasa põldude minimeeritud harimine ja seene suguliste viljakehade säilimine taimejäänustel. Kuna haigustekitaja säilib teraviljaseemnetes, siis on oluline kaitsta tärkavaid taimi efektiivsete puhistega.



Joonis 1. Taimehaiguste esinemine suviodra põldudel 2017.–2021. a Eesti Taimekasvatuse Instituudi üle-eestilise taimekahjustajate monitooringu tulemusel

Õigeaegne tõrje ja efektiivsete fungitsiiditoimeainete kasutamine on taime haigusest hoidmisel ja saagi kaitsmisel väga määravad. Seenhaiguste tõrjes kasutatavad fungitsiididide toimeained kuuluvad valdavalt triasoolide ehk 14 α -steroidemetülaasi (DMI), strobiluriinide (QoI) ja suksinaatdehüdrogenaasi inhibiitorite (SDHI) rühma (Backes jt, 2021). Aastate lõikes varieerub *Ptt* tundlikkus nii DMI kui ka SDHI rühma toimeainete suhtes, mis on tingitud nende suhtes resistentsust põhjustavate (uute) mutatsioonide tekkimisest ja akumulierumisest *Ptt* genoomis (Mair jt, 2020; Rehfus jt, 2016). Üllatavalt hästi on toiminud siiani strobiluriini (QoI) rühma toimeained. Põhjuseks asjaolu, et *Ptt*-l ei saa CytB valgus tekkida strobiluriinide suhtes tugevat resistentsust andvat mutatsiooni G134A (Sierotzki jt, 2007). Siiani ei ole analüüsitud, milline on Eesti *Ptt* populatsiooni tundlikkus erinevate toimeainete suhtes ja millised toimeained on efektiivsed võrklaiksuse tekitaja suhtes. Alljärgnevalt analüüsime võrklaiksuse haigustekitaja *Ptt* Eesti populatsiooni tundlikkust peamiste taimekaitse-

vahendites sisalduvate toimeainerühmade (triasoolide, suktsinaatdehüdrogenaasi inhibiitorite ja strobiluriinide) suhtes.

Materjal ja meetodika

Puhaskultuuride isoleerimine ja DNA eraldamine sekveneerimiseks. *Ptt* proove koguti 2022. aastal suviudrapõldudel 9 maakonnast: Ida-Virumaalt, Jõgevamaalt, Järvamaalt, Lääne-Virumaalt, Pärnumaalt, Tartumaalt, Valgamaalt, Viljandimaalt ja Võrumaalt. Igast maakonnast koguti proove keskmiselt 5 põllult (põldude arv maakonna kohta varieerus 3–12-ni). Igalt põllult koguti vähemalt 10 võrklaiksuse tunnustega lehte. Lehed kuivatati toatemperatuuril. Lehed pindsteriliseeriti (70% etanoolilahusega), loputati destilleeritud veega ja asetati filterpaberile 3–5 päevaks, mille järel isoleeriti võrklaiksuse laikude kohalt *Ptt* koniidid, mis kasvatati puhaskultuuride saamiseks kartuli-dekstroos-agarsöötmele 22 °C 12 h valge / 17 °C 12 h pime režiimil, 1–2 nädalat. *Ptt* isolaatide DNA eralduseks kasutati QIAcube® HT DNA ekstraktorit ning DNeasy mericon 96 QIAcube HT Kit'i vastavalt tootja juhiste (Qiagen – Kits handbooks). Eraldatud DNAs tehti SDH-geenijärjestustele PCR analüüs kasutades Rehfus jt (2016) meetodikat. Järjestused sekveneeriti Sangeri meetodikal TÜ genoomika instituudi tuumiklaboris ning analüüsiti seejärel NCBI BLASTN programmi abil (BlastN).

Fungitsiidiresistentsuskatsed mikroitiiterplaadil tehti vastavalt standardmeetodile (FRAC., 2009). *Ptt* isolaadid kasvatati maapähkli-kaerajahu agari tardsöötmele 2 nädalat kasvurežiimil 22 °C 12 h valge / 17 °C 12 h pime. *Ptt* isolaatide fungitsiidide tundlikkuse määramiseks kasutati 96 kannuga mikroitiiterplaate. Fungitsiidide lahjendused tehti destilleeritud veega ja igasse kannukesse kanti 50 µl fungitsiidi. Igast fungitsiidirühmast testiti kahte erinevat toimeainet, strobiluriinidest püraklostrobiini (PYR) ja asoksüstrobiini (AZO), suktsinaatdehüdrogenaasi inhibiitorite rühmast fluksapüroksaadi (FLUX) ja biksafeeni (BIX) ning triasoolide rühmast protiokonasool-destiot (ProD) ja mefentrifluokonasooli (MEF). Lõppkontsentratsioonid (mg l⁻¹) olid vastavalt: 10; 3,33; 1,11; 0,37; 0,12; 0,041; 0,014; 0 mefentrifluokonasoolil, 6; 2; 0,67; 0,22; 0,074; 0,025, 0,008, 0 püraklostrobiinil, asoksüstrobiinil, protiokonasool-destiol ning 3; 1; 0,33; 0,11; 0,037; 0,012; 0,004; 0 fluksapüroksaadil. *Ptt* erinevate isolaatide lahjendused tehti 2 × YBA pärimi-peptooni-naatriumatsetaadi vedelsöötmes lõppkontsentratsiooniga 4 × 10³ hüüfi ml⁻¹ (lisati samuti igasse kannukesse 50 µl). Igat isolaati testiti kolmes korduses. Mikroitiiterplaate inkubeeriti toatemperatuuril pimedas 5 ööpäeva ja mõõdeti proovide optilist tihedust (OD405) Tecan Sunrise™ lugejaga (Tecan, Männedorf, Switzerland).

Andmetöötlus ja statistiline analüüs. EC50 väärtused arvutati mittelineaarse

regressiooni meetodil. Welchi t-testiga võrreldi EC50 keskmisi väärtuseid toimeainete vahel, Kruskal-Wallise testi ja Dunn'i post-hoc testiga võrreldi maakondade mediaankeskmisi EC50 väärtusi. Analüüsimiseks kasutati programmi GraphPad Prism (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA). Joonised tehti Super-PlotsofData ja PlotsofData'ga (Shiny apps).

Tulemused ja arutelu

Suviudrapõldudelt koguti võrklaiksuse tunnustega 55 lehte, millest 25-lt saadi kokku 227 *Ptt* isolaati. Fungitsiidiresistentsuskatsed tehti 152 isolaadiga 6 toimeaine suhtes. Mikroitiiterplaadi katsete tulemuseks saadi erinevate isolaatide tundlikkused ehk taluvused ehk EC50 – fungitsiidi kontsentratsioon, mis pärsib patogeeni kasvu poole võrra (tabel 2). See tulemus ei ole siiski üks ühele ümber arvutatav põldkatseteks vajaminevaks kontsentratsiooniks, sest põldkatsetel mängib kasutatava fungitsiidikoguse määramisel rolli ka ilmastik, sordivalik, biomassi kasvukiirus ja paljud muud tegurid (Lammari jt, 2020). Samas on selline *in vitro* katse informatiivne pikemas plaanis, et regulaarselt aastast aastasse monitoorida põllult kogutud patogeeni isolaatide tundlikkuse muutumist aastate lõikes. Kuna sama meetodikat kasutavad ka paljud Põhjamaad (Taani, Rootsi, Soome jt), on lihtne omavahel võrrelda eri maade *Ptt* tundlikkust enam kasutatavate toimeainete suhtes.

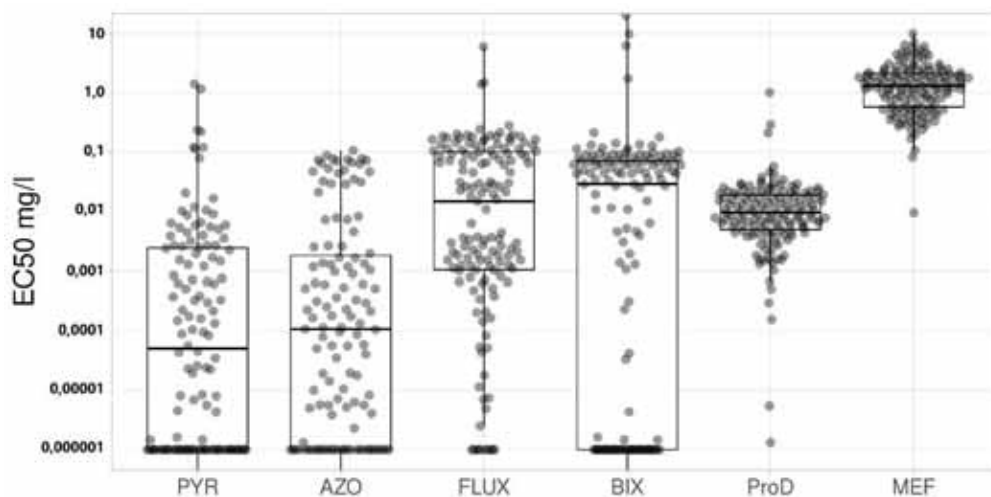
DMI rühma fungitsiidide toimeainete mefentriflukonasooli ja protiokonasool-destio tundlikkusi võrreldes selgus, et mefentriflukonasooli efektiivne kontsentratsioon oli oluliselt kõrgem ($t_{145} = 13,15$; $p < 0,001$). Teiste toimeainerühmade piires tundlikkuses olulisi erinevusi ei esinenud.

***Ptt* Eesti populatsiooni tundlikkus QoI-rühma fungitsiidide suhtes.** Strobiluriini suhtes oli Eesti *Ptt* populatsioon kõige tundlikum, sealjuures oli toimeainete püraklostrobiini suhtes keskmine EC50 0,028 mg l⁻¹ ja asoksüstrobiini suhtes 0,011 mg l⁻¹ (tabel 2, joonis 2). Euroopa tundlike isolaatide keskmine EC50 Lammari jt (2020) andmetel on püraklostrobiinil alla 0,01 mg l⁻¹ ja asoksüstrobiinil 0,02 mg l⁻¹. Mitmes maakonnas (Ida-Viru, Jõgeva, Pärnu, Tartu, Valga) oli

Tabel 1. Eesti *Ptt* populatsiooni tundlikkus, EC₅₀ (mg l⁻¹)

Rühm	QoI		SDHI		DMI	
	PYR	AZO	FLUX	BIX	ProD	MEF
Keskmine	0,028	0,011	0,111	0,307	0,022	1,705
Mediaan	< 0,001	< 0,001	0,013	0,027	0,010	1,311
MIN	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,009
MAX	1.405	0.107	6.000	20.000	1.014	9.908

tundlikkus vähenenud püraklostrobiini suhtes ($EC_{50} > 0,01$). Vähem oli tundlikkus vähenenud asoksüstrobiini puhul, kus ainult kahes maakonnas (Võru, Lääne-Viru) oli keskmine EC_{50} suurem kui $0,02 \text{ mg l}^{-1}$. Asoksüstrobiini puhul jäi keskmine tundlikkus Euroopa tundlike isolaatide piiresse.



Joonis 2. *Ptt* Eesti populatsiooni EC_{50} mediaanväärtused fungitsiidi toimeainete kaupa

Samal ajal Lammari jt (2020) katse Alžeeria kõikide isolaatide EC_{50} väärtused jäävad püraklostrobiinil vahemikku $0,002$ – $0,026$ (keskmine $0,011$) mg l^{-1} ja asoksüstrobiinil $0,005$ – $0,041$ (keskmine $0,021$). Eeltoodud isolaatide paralleelkatsetes kasvuhoones leiti, et näiteks asoksüstrobiini täis-kulunorm 125 g ha^{-1} inhibeeris 90% patogeenist ning kulunorm 83 g ha^{-1} inhibeeris vähemalt 80% patogeenist. Eestis on toimeaine asoksüstrobiin lubatud maksimaalsed kulunormid ligikaudu 100 – 120 g ha^{-1} (näitena kasutatud tooted Azoshy, Mirador 250 SC, Conclude AZT 250 SC, Mirador Forte) (Taimekaitsevahendite register). Kuna Eesti *Ptt* populatsiooni EC_{50} väärtused jäid Lammari jt (2020) katsega sarnasesse vahemikku, siis võiks järeldada, et Eesti põldudel toimivad strobiluriini rühma fungitsiidid üldiselt hästi. Samuti leiti põldkatsete puhul, et püraklostrobiin surus piisavalt maha nii tundlikke kui ka vähenenud tundlikkusega *Ptt* isolaate ja toimis nii põllul kui ka *in vitro* katsetes isegi tõhusamalt kui asoksüstrobiin (Matsuzaki jt, 2019; Semar jt, 2007).

***Ptt* isolaatide tundlikkus SDHI-rühma fungitsiidide suhtes.** Eesti *Ptt* populatsiooni keskmine EC_{50} toimeainete fluksapüroksaadi korral oli $0,111 \text{ mg l}^{-1}$ ja biksafeeni puhul $0,307 \text{ mg l}^{-1}$ (tabel 2, joonis 2). Eesti populatsiooni isolaatide SDH valgu mutatsioonide (C-S135R ja D-H134R) analüüsi tulemusel saadi ilma

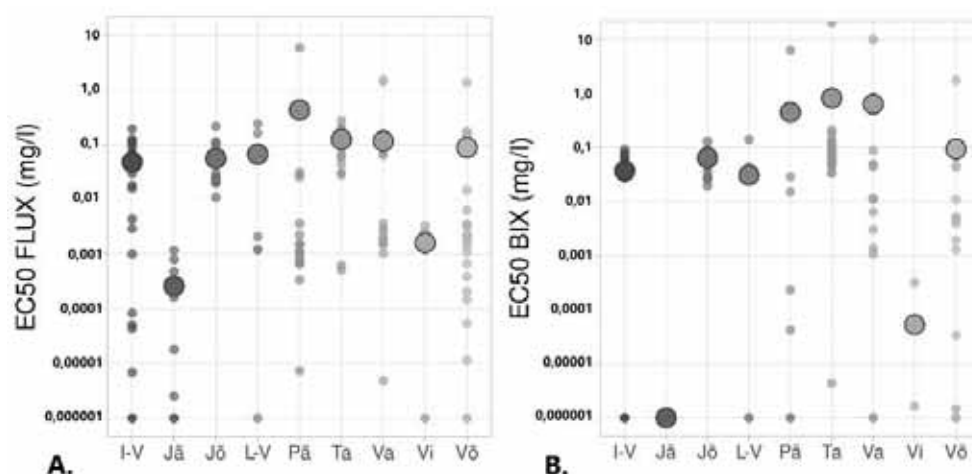
mutatsioonita isolaatide keskmiseks EC50 väärtuseks fluksapüroksaadi korral 0,094 mg l⁻¹ ning biksafeeni puhul 0,101 mg l⁻¹. Muteerunud isolaatide EC50 väärtused olid fluksapüroksaadi ja biksafeeni puhul vastavalt 0,208 ja 0,614 mg l⁻¹. Uuritud isolaatidest 49% oli C-S135R või D-H134R mutatsiooniga. Lammari jt (2020) andmetel oli fluksapüroksaadi tundlike isolaatide keskmine EC50 0,015 mg l⁻¹ ning resistentsust tõstva mutatsiooniga isolaatide EC50 jäi vahemikku 0,64–4,94 mg l⁻¹. Rehfus jt (2016) uuringu SDHI suhtes tundlike isolaatide EC50 jäi fluksapüroksaadil vahemikku 0,003–0,009 mg l⁻¹ ja biksafeenil 0,003–0,007 mg l⁻¹. Sama uuringu kõikide isolaatide keskmised väärtuste vahemikud olid fluksapüroksaadil 0,003–0,820 mg l⁻¹ ja biksafeenil 0,003–1,649 mg l⁻¹. SDH valgu mutatsioonid C-H134R ja C-G79R mõjutasid tundlikkust enim (EC50 > 0,4 mg l⁻¹) (Rehfus jt, 2016). Eesti populatsioonis kõige tugevamat resistentsust andvad mutatsioonid C-H134R ja C-G79R puudusid SDH valgus, kuid esinesid mutatsioonid C-S135R ja D-H134R, mis vähendasid *Ptt* isolaatide tundlikkust SDHI toimeainete suhtes. Eesti populatsioonis esinenud mutatsioonidega C-S135R ja D-H134R isolaadid olid Rehfus jt (2016) andmetel fluksapüroksaadi doosidega 125 g ha⁻¹ 80% ning 41,7 g ha⁻¹ kuni 75% tõhususega kontrollitavad. Eestis on sõltuvalt tootest toimeaine fluksapüroksaadi maksimaalne lubatud piirmäär 125 g ha⁻¹ (Taimekaitsevahendite register).

***Ptt* isolaatide tundlikkus DMI-rühma fungitsiidide suhtes.** Toimeainete protiokonasool-destio keskmine EC50 oli 0,022 mg l⁻¹ ja mefentriflukonasoolil 1,705 mg l⁻¹ (tabel 2, joonis 2). Kui lähtuda tundlikkuse hindamisel teiste sarnaste uuringute keskmistest EC50 väärtustest, siis jagunevad *Ptt* isolaadid DMI-rühma fungitsiidide suhtes ligikaudu järgnevalt (Mair jt, 2020; Suemoto jt, 2019). Protiokonasool-destio puhul on tundlike isolaatide piiriks EC50 < 0,04 mg l⁻¹, vähenenud tundlikkusega isolaatide EC50 jääb vahemikku 0,04–1,0 mg l⁻¹ ning resistentsusele kalduvate isolaatide EC50 > 1,0 mg l⁻¹. Eesti populatsioon oli üldiselt tundlik protiokonasool-destio suhtes, välja arvatud 6 isolaati, mille EC50 väärtused jäid üle 0,04 mg l⁻¹. Protiokonasool-destio resistentsusele kalduvaid isolaate siiski ei olnud. Mefentriflukonasooli kohta väga täpseid tundlikkuse vahemikke ei ole võimalik teistest uuringutest välja tuua selle fungitsiidi uudsuse tõttu. *Ptt* tundlikkus DMI-rühma fungitsiidide suhtes varieerub enamasti väga suures ulatuses ning sõltub konkreetsest toimeainest (Lammari jt, 2020; Mair jt, 2016, 2020). Siiani on olnud kõige kõrgemad EC50 väärtused varasematest uuringutest valdavalt toimeaine tebukonasool suhtes. Mair jt (2020) katsetes olid tebukonasoolile tundlike isolaatide EC50 < 0,7 mg l⁻¹. On leitud, et nagu muud DMI-fungitsiidid, oli ka mefentriflukonasool ristresistentne teiste DMI-rühma fungitsiididega, eriti tebukonasooli ja difenokonasooliga (Heick jt, 2020; Ishii jt, 2021). Kui mefentriflukonasooli EC50 tulemusi hinnata eeltoodud tebukonasooli-

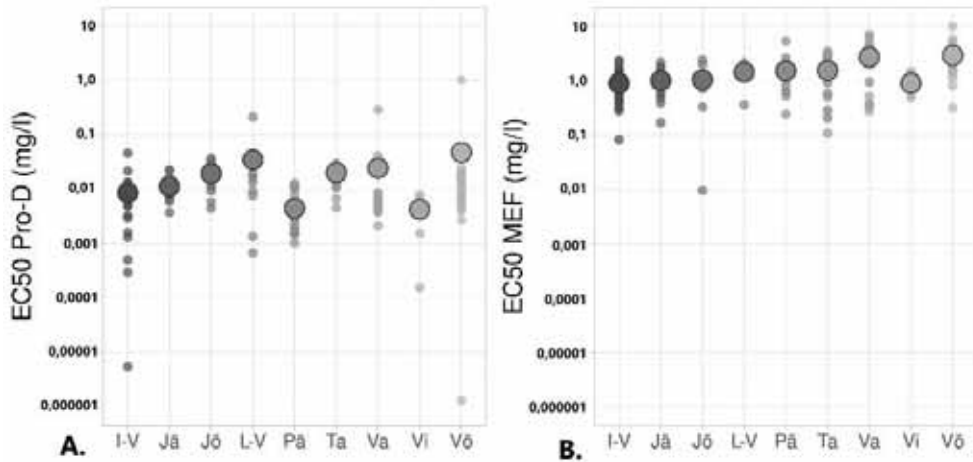
tundlike isolaatide EC50 väärtusega, siis 29% isolaatidest olid tundlikud ja 71% isolaate vähenenud tundlikkusega mefentriflukonasooli suhtes.

Maakondadevahelised erinevused fungitsiiditundlikkuses. Püraklostrobiini ja asoksüstrobiini tundlikkuses maakondade vahelisi statistiliselt olulisi erinevusi ei olnud. Statistiliselt oli oluline erinevus ($p < 0,001$) maakondade vahel fluksapüroksaadi, biksafeeni, mefentriflukonasooli ja protiokonasool-destio tundlikkuses.

Võttes aluseks eeltoodud piirmäärad vähenenud tundlikkuse hindamisel, on võimalik fluksapüroksaadi puhul välja tuua Pärnu, Tartu ja Valga maakond, kus keskmine tundlikkus on vähenenud ($EC_{50} > 0,094$) (joonis 3A). Pärnu, Valga ja Võru maakonnas leidis üksikuid isolaate, mille EC50 väärtus jäi lausa üle 1,0 mg l⁻¹. Biksafeeni suhtes on Pärnu, Tartu ja Valga maakonna *Ptt* isolaatide tundlikkus keskmiselt vähenenud ($EC_{50} > 0,101$) ning üksikuid $EC_{50} > 1,0$ mg l⁻¹ väärtusega isolaate leidis nii Pärnu, Tartu, Valga kui ka Võru maakonnas (joonis 3B). Kõikides maakondades oli *Ptt* populatsioon tundlik protiokonasool-destio suhtes, keskmine EC50 väärtus jäi maakondades vahemikku 0,004–0,05 mg l⁻¹. Protiokonasool-destio puhul võib maakondadest esile tõsta vaid Võru maakonna, kus oli ühe isolaadi EC50 > 1,0 mg l⁻¹ (joonis 4A).



Joonis 3. Toimeainete fluksapüroksaadi (A) ja biksafeeni (B) tundlikkused (mg l⁻¹) Eesti *Ptt* populatsioonis maakondade järgi. IV – Ida-Viru mk, Jä – Järva mk, Jõ – Jõgeva mk, L-V – Lääne-Viru mk, PÄ – Pärnu mk, Ta – Tartu mk, Va – Valga mk, Vi – Viljandi mk, Võ – Võru mk



Joonis 4. Toimeainete protiokonasool-destio (A) ja mefentriflukonasooli (B) tundlikkused (mg l^{-1}) Eesti *Ptt* populatsioonis maakondade võrdluses. IV – Ida-Viru mk, Jä – Järva mk, Jõ – Jõgeva mk, L-V – Lääne-Viru mk, PÄ – Pärnu mk, Ta – Tartu mk, Va – Valga mk, Vi – Viljandi mk, Võ – Võru mk

Mefentriflukonasooli suhtes oli üle Eesti *Ptt* isolaatide tundlikkus vähenenud, kõikides maakondades olid keskmised $\text{EC}_{50} > 0,7 \text{ mg l}^{-1}$ (joonis 4B). Teistest usutatavalt väiksemad väärtused olid Viljandi ja Ida-Viru maakonnas. Esile peaks tõstma Valga ja Võru maakonda, kus oli keskmine EC_{50} vastavalt 2,673 ja 2,867 mg l^{-1} ja tundlikkus mefentriflukonasooli suhtes oli oluliselt vähenenud.

Kokkuvõte

Esmakordselt viidi Eestis läbi põhjalik üheksat maakonda hõlmav uuring võrklaiksuse tekitaja *Ptt* populatsiooni tundlikkuse uurimiseks erinevate fungitsiidi toimeainete suhtes. Tulemused näitasid suurt tundlikkuse varieeruvust kõikide testitud toimeainete suhtes ja olulist erinevust maakondade vahel fluksapüroksaadi, biksafeeni, mefentriflukonasooli ja protiokonasool-destio tundlikkuses. Kuigi mefentriflukonasool on uus toimeaine, siis laialdane triasoolide kasutamine ja ristresistentsus on arvatavasti viinud *Ptt* populatsiooni tundlikkuse vähenemiseni. Selleks, et haigustõrje oleks tõhus ja pikeneks toimeainete efektiivsus, tuleb kombineerida erinevate toimeainerühmade fungitsiide ja neid roteerida.

Tänuavaldused

Uurimistööd toetas MEM projekt „Teraviljadel ja rapsil levivate taimekahjustajate pestitsiidiresistentsuse ja bioloogiliste taimekaitsevahendite uuring“.

Kasutatud kirjandus

- Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. 2021. *Pyrenophora teres*: Taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. – *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.614951>
- BLASTN – https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome (9.01.2022)
- FRAC. - FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. PYRNTÉ monitoring method BASF 2009 V1. <https://www.frac.info/docs/default-source/monitoring-methods/approved-methods/pyrnte-monitoring-methods-update-feb-2009.pdf?sfvrsn=4&sfvrsn=4> (2.06.2022)
- <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02075-w>
- Heick, T.M., Matzen, N., Jørgensen, L.N. 2020. Reduced field efficacy and sensitivity of demethylation inhibitors in the Danish and Swedish *Zymoseptoria tritici* populations. *Eur J Plant Pathol* 157, 625–636 <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02029-2>
- Ishii, H., Bryson, P. K., Kayamori, M., Miyamoto, T., Yamaoka, Y., & Schnabel, G. 2021. Cross-resistance to the new fungicide mefentrifluconazole in DMI-resistant fungal pathogens. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 171, 104737. doi:10.1016/j.pestbp.2020.104737
- Jalli, M., Kaseva, J., Andersson, B., Ficke, A., Nistrup-Jørgensen, L., Ronis, A., Kaukoranta, T., Ørum, J.-E., and Djurle, A. 2020. Yield increases due to fungicide control of leaf blotch diseases in wheat and barley as a basis for IPM decision-making in the Nordic-Baltic region. *European Journal of Plant Pathology*, 158(2), pp 315–333. doi:10.1007/s10658-020-02075-w
- Kiiker, R., Sooväli, P. 2021. Taimahaiguste esinemisest teraviljapõldudel üle-eestilise monitooringu tulemusel. – *Agronomia* 2021, lk 150–157.
- Lammari, H., Rehfus, A., Stammer, G., & Benslimane, H. (2020). Sensitivity of the *Pyrenophora teres* population in Algeria to quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors. *Plant Pathol J*, 36(3), pp 218–230. doi:10.5423/PPJ.OA.09.2019.0237
- Liu, Z., Ellwood, S.R., Oliver, R.P., Friesen, T.L. 2011. *Pyrenophora teres*: profile of an increasingly damaging barley pathogen. *Mol. Plant Pathol.* 12, 1–19. doi:10.1111/j.1364-3703.2010.00649
- Mair, W. J., Deng, W., Mullins, J. G. L., West, S., Wang, P., Besharat, N., Ellwood, S.R., Oliver, R.P., Lopez-Ruiz, F. 2016. Demethylase inhibitor fungicide resistance in *Pyrenophora teres f. sp. teres* associated with target site modification and inducible overexpression of Cyp51. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01279>
- Mair, W.J., Thomas, G.J., Dodhia, K., Hills, A.L., Jayasena, K.W., Ellwood, S.R., Oliver, R.P., Lopez-Ruiz, F.J. 2020. Parallel evolution of multiple mechanisms for demethylase inhibitor fungicide resistance in the barley pathogen *Pyrenophora teres f. sp. maculata*. *Fungal Genetics and Biology*, 145, 103475. doi:10.1016/j.fgb.2020.103475

- Matsuzaki, Y., Kiguchi, S., Suemoto, H., & Iwahashi, F. 2020. Antifungal activity of methyltetraprole against the existing QoI-resistant isolates of various plant pathogenic fungi. *Pest Management Science*, 76(5), pp 1743–1750. doi:10.1002/ps.5697
- Minarikova, V., Polisenka, I. 1999. Analysis of populations of *Pyrenophora teres* on barley in the czech republic. *Plant Protection Science - UZPI (Czech Republic)* ISSN : 1212-2580, pp 115–120.
- Qiagen – Kits handbooks. DNeasy mericon 96 QIAcube HT Handbook. <https://www.qiagen.com/us/resources/resourcedetail?id=6c38af78-01df-4640-af5e-c208737f96b1&lang=en> (11.01.2023)
- Rehfus, A., Miessner, S., Achenbach, J., Strobel, D., Bryson, R., & Stammler, G. 2016. Emergence of succinate dehydrogenase inhibitor resistance of *Pyrenophora teres* in europe. *Pest Management Science*, 72(10), pp 1977–1988. doi:10.1002/ps.4244
- Semar, M., Strobel, D., Koch, A., Klappach, K., & Stammler, G. 2007. Field efficacy of pyraclostrobin against populations of *Pyrenophora teres* containing the F129L mutation in the cytochrome b gene. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 114(3), 117–119. doi:10.1007/BF03356718
- Shiny apps – PlotsOfData ja SuperPlotsOfData <https://huygens.science.uva.nl/> (10.01.2023)
- Sierotzki, H., Frey, R., Wullschleger, J. ü, Palermo, S., Karlin, S., Godwin, J., & Gisi, U. 2007. Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. tritici-repentis* and implications for QoI resistance. *Pest Management Science*, 63(3), pp 225-233. doi:10.1002/ps.1330
- Sooväli, P., Koppel, M. 2017. Taimehaiguste monitooringu tulemused 2014.–2016. a. – Taimekasvatuse alased uuringud Eestis 2017. (toim) I. Tupits, S. Tamm, Ü. Tamm, A. Toe. Jõgeva, lk 139–146.
- Suemoto, H., Matsuzaki, Y., & Iwahashi, F. 2019. Methyltetraprole, a novel putative complex III inhibitor, targets known QoI-resistant strains of *Zymoseptoria tritici* and *Pyrenophora teres*. *Pest Management Science*, 75(4), pp 1181-1189. doi:10.1002/ps.5288
- Taimekaitsevahendite register. <https://portaal.agri.ee/avalik/#/taimekaitse/taimekaitsevahendid-otsing/et> (11.12.2022)

RAPSI PEITKÄRSAKAD JA NENDE KILETIIVALISED PARASITOIDID

Silva Sulg, Riina Kaasik, Eve Veromann

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Sulg, S., Kaasik, R., Veromann, E. 2023. Oilseed rape weevils and their *Hymenopteran* parasitoids. – *Agronomy* 2023.

Oilseed rape (Brassica napus) is a widely cultivated crop with multiple different Ceutorhynchus species, attacking the different plant parts at the different time points during the plant growth. Multiple Ceutorhynchus species that are common pests in Central Europe are not yet detected in Estonia, but in favourable conditions insects may expand their distribution areas and become economically important pests. Having a heterogenic agricultural landscape that promotes the presence of different natural enemies, could keep pests abundance under control. Natural enemies, especially hymenopteran parasitoids, have shown their efficiency to control multiple other oilseed rape pests. Parasitism rates have reached even up to 90%. To have an effective biocontrol we need to promote parasitoids' abundance in and around the oilseed rape fields.

Keywords: *Ceutorhynchus obstrictus*, *Ceutorhynchus pallidactylus*, *Ceutorhynchus pleurostigma*, stem-mining pest

Sissejuhatus

Kärsaklaste arvukas sugukonnas leidub palju taimtoidulisi liike, kelle hulgas on ka taimekahjureid. Perekonnast *Ceutorhynchus*, kuhu kuulub umbes 400 liiki, on meie piirkonnas rapsiga seotud mitu erinevat liiki, kellest mõni võib rapsi olulisel määral kahjustada. Perekonda *Ceutorhynchus* kuuluvad rapsi kahjurid tekitavad taimele kahju kogu kasvuperioodi jooksul, mistõttu on nende vastu tõrje keeruline. Andmeportaali eElurikkus andmetel on Eestis leitud vähemalt 55 *Ceutorhynchus* liiki, kuid kellest rapsiga on seotud mõned (eElurikkus, 2023). Eestis levinumad rapsi kahjurid *Ceutorhynchus* perekonnast on kõdra-peitkärsakas (*Ceutorhynchus obstrictus* Marsham syn. *C. assimilis* Paykull), varre-peitkärsakas (*C. pallidactylus* Marsham sün. *C. quadridens* Panz.; *C. seriesetosus* Dietz.) ja juure-peitkärsakas (*C. pleurostigma* Marsham). Rapsil võib kohata ka teisi peitkärsakaid kuid nad ei tekita majanduslikku kahju nagu näiteks juttself-peitkärsakas (*C. floralis* Paykull) ja naeri-peitkärsakas (*C. rapae* Gyllenhal) (Tarang jt, 2004; Veromann jt, 2006). Lisaks eelpool nimetatutele on Eestis leitud ka *C. sulcicollis* (Paykull), kelle kahjustus sarnaneb varre-peitkärsaka omale (Sulg jt, 2022). Kesk- ja Lääne-Euroopa rapsikasvatajatele tekitavad olulist majanduslikku kahju lisaks ka *C. picitarsis* (Gyllenhal) ja *C. napi* (Gyllenhal), kellest esimesena nimetatut Eestis leitud ei ole ning teise puhul on tegemist ajaloolise üksikleiega.

Rapsi olulisemad kahjurid ja nende loodusliku vaenlased

Kõdra-peitkärsakad kahjustavad rapsi peamiselt vastse staadiumis. Vastset toituvad seemnetest kõtrade sees, mille tulemusel võib kahjustatud kõdras seemnete arv väheneda kuni 20% (Free, Williams, 1978). Kõdra-peitkärsaka vastsed võivad olla röövtoiduliste lüljalagstete saagiks siis kui nad mulda nukkuma laskuvad ja parasitoidide ohvriks siis kui nad kõdras toituvad. Peamiselt ründavad neid ektoparasitoidid st nad munevad oma peremehe peale ja tavaliselt on ektoparasitoidide ohvrid varjatud eluviisiga (antud juhul kõdra sees). Kõdra-peitkärsakat parasiteerib umbes 40 parasitoidi liiki, kes on enamasti idiobiontsed st parasiteerimise käigus muudetakse peremees liikumisvõimetuks ja kahjuri vastsed lõpetavad toitumise (Ulber jt, 2010). Eestis parasiteerivad kõdra-peitkärsakat vähemalt 17 erinevat liiki kiletiivalisi parasitoidi, kellest arvukaimad on *Mesopolobus morys* (Walker) ja *Trichomalus perfectus* (Walker) (Kovács, 2018). Kõdra-peitkärsaka vastsete parasiteerituse tase on Eestis olnud läbi aastate kõrge (Veromann jt, 2013; Kovács jt, 2019), Eestis on leitud isegi 96%-list parasiteerituse taset (Veromann jt, 2011).

Juure-peitkärsakas muneb juurekaela või varre alaosa epidermisse üksikult, harva kogumikena, kuhu nad on eelnevalt närinud augu. Vastsete toitumise tagajärjel hakkavad juurekaelale moodustuma pahad, mis aegamööda suurenevad kuni isegi 2 cm läbimõõduni. Pahad sarnanevad kapsanuutri (*Plasmodiophora brassicae*) kahjustusele, kuid nende sees on vastsekambrid, milles toituvad juure-peitkärsaka vageltõugud (Gratwick, 2012). Juure-peitkärsaka kahjustus võib pärssida taimede kasvu, kuid saagikadu on enamasti väike/kaheldav (Gratwick, 2012). Ühendkuningriigis võib leida nii vastseid kui valmikuid aastaringselt, sest nende kasvustaadiumite pikkus on väga varieeruv. Eesti ja meie lähiriikide kohta sellised andmed puuduvad. Juure-peitkärsaka parasiteerituse taset pole varasemalt palju uuritud, kuid on teada, et tema peamised parasitoidi liigid on *Sigalphus obscurellus* (Nees) ja *Diospilus oleraceus* (Haliday) (Ulber, 2003).

Varre-peitkärsakad teevad enim kahju vastsestaadiumis, mil varres kaevandavate vastsete toitumise tagajärjel väheneb taimes toitainete liikumine ning kõtrade moodustumine, taimed võivad lamanduda (Dechert, Ulber, 2004). Kahjustusest tulenev saagikadu võib ulatuda kuni 50%-ni (Petratiene jt, 2012). Aprillis–mais kogumikena taime lehtede alla, pigem jämedamatele vartele, paigutatud munadest väljunud vastsed kaevanduvad taime vartesse ning toituvad seal (Dechert, Ulber, 2004). Varjatud eluviisiga vastsete looduslike vaenlastena on teada vaid 4 liiki koinobiontseid parasitoidi: *Tersilochus obscurator* (Aubert), *Tersilochus tripartitus* (Brischke), *Stibeutes curvispina* (Thomson), *Trichomalus exilis* (Holmgren). Koinobiontsed parasitoidid on sellised, kes lasevad peremehe arengul jätkuda kuni nukkumiseni. Varre-peitkärsaka puhul tapab parasitoid

vastse alles siis, kui viimane on juba laskunud mulda nukkuma. Varre-peitkär-saka munemisperiood kestab 40 kuni 80 päeva raskendades keemilise kontrolli rakendamist (Seidenglanz jt, 2020). Varre-peitkär-saka tõrjekriteeriumid erinevad riikide lõikes varieerudes 4–20 mardikat kollase vesipüünise kohta kolme järjes-tikuse päeva jooksul ning tõrje ulatub tihti kolme töötluseni (Juran jt, 2011; Sei-denglanz jt, 2020).

Viimase kümne aasta jooksul on kogu Euroopas suurenenud varre-peitkär-saka kahjustuste suurus (Zheng jt, 2020) ning kuigi 2000-ndate aastate alguses oli ta Eestis väga vähearvukas, siis praeguseks ajaks on nende arvukus Eestis jõud-salt suurenenud ja tootmispõldudelt kogutud ja Eesti Maaülikooli Taimetervise õppetoolis väljakasvatatud taimeproovid kinnitavad selle kahjuri jälgimise olulisust. Sulg (2019) leidis, et kui rapsi põld oli eelneva aasta sama kultuuri põl-lule lähemal kui 500 meetrit, oli kahjustuse tase oluliselt kõrgem (41,02%) võr-reldes põldudega, mis asusid 500 meetrist kaugemal kui eelmise aasta rapsipõld (25,83%). Lisaks oli lamandumise tõenäosus madal või puudus põldudel, mis asusid kaugemal 500 meetrit eelmise aasta rapsipõllust. Eestis ei ole hinnatud varre-peitkär-saka parasiteerituse taset, mistõttu on keeruline hinnata nende rolli kahjuri arvukuse ohjamisel Eestis.

Varres kaevandavate kär-saklaste kahjustuspilt on sarnane ning varre alu-mises osas võib leiduda nii varre- kui ka juure-peitkär-sa vastseid. Kuigi vast-sete põhjal ei saa enamasti liiki määrata, eristab neid munemisperioodi algus: varre-peitkär-sakas ja *C. napi* on kevadise aktiivsusega ja alustavad munemist aprillis–mais, (Alford jt, 2003), seevastu juure-peitkär-sakad, *C. sulcicollis* ja *C. Picitarsis*, on jahedas paljunevad liigid, kes munevad sügisel ning nende vastsed arenevad varres talve jooksul (Alford jt, 2003; Hayn, 1970). Tulenevalt bioloog-ilistest erinevusest, tuleks nende arvukust seirata kevade alguses või sügisel. Järjest olulisemaks muutub sügisene seire, millega Eesti tootjad väga harjunud ei ole, sest üha soojemad sügised ja talved võivad soodustada talvise aktiivsusega liike. Varre-peitkär-sakas saabub põllule juba suhteliselt varakevadel kui päeva keskmine temperatuur on > 6 kraadi (Vaitelyte jt, 2014)

Reinhardt jt, (2014) leidsid, et *C. napi* arvukuse tõusu põhjuseks võib olla kombinatsioon ebaefektiivsetest tõrjevahenditest aga ka liiga väikesest ajalis-ruumilisest eraldatusest järjestikuste aastate põldude vahel. Oluline on siinkohal märkida, et *C. napi* jääb talvituma rapsi põllule noormardikana või nukufaasis, seega on tema arvukus otseselt seotud eelmise aasta rapsipõldude lähedusega ja väga oluline on teada kahjuri levimisraadiust. Samas isegi siis, kui kahjur-putukad ei talvitu kultuurpõllul, on sama kultuuri ajalis-ruumiline eraldatus põllumajandusmaastikus oluline. Näiteks varre-peitkär-sakas ei talvitu rapsipõl-lul, aga Sulg jt (2019) uurimuse tulemused näitasid, et nende arvukus oli oluliselt

kõrgem põldudel, mis paiknesid eelmise aasta rapsipõllule ligemal kui 500 m võrreldes põldudega, mis paiknesid kaugemal kui 500 m eelmise aasta rapsipõllust. Nii naeri-hiilamardikas, *C. napi* kui ka maakirpude (*Phyllotreta* spp) ellujäämispotentsiaal on alla ühe aasta, kui nende levimisraadiuses puuduvad peremeestaimed (Zheng jt, 2020). Seega saab levikut mõjutada külvikordade planeerimisega suuremal maa-alal, mitte ühe põllu põhiselt ning oluliselt kahjurite populatsioonide suurust vähendada, kui piirata peremeestaimede kasvatamist antud piirkonnas. Põllud, mis on eraldatud mitteharitavate aladega, nagu näiteks maastikuelementide, metsade, looduslike ja/või poollooduslike kooslustega, mis mõjuvad kui maastikutõkked, on oluliseks tööriistaks kahjurite leviku takistamisel (Zheng jt, 2020).

Looduslike vaenlaste soodustamise olulisus

Peitkärsakate bioloogilised eriärasused (vastsete peidetud ja seega taime poolt kaitstud eluviis) teevad nende tõrjumise keeruliseks, mistõttu on eriti oluline soodustada nende looduslike vaenlaste esinemist ja arvukust. Looduslikel vaenlastel on integreeritud taimekaitse rakendamises oluline roll, nad on võimelised vähendama erinevate taimekahjurite arvukust olulisel määral. Põllumajandusmaal on peamised kahjuritõrje hüve pakkuvad liigid erinevad röövtoidulised lüljalgsed: lühitiiblased, jooksiklased, lepatriinulased, ämblikulaadsed jpt (Skellern, Cook, 2018). Lisaks röövtoidulistele putukatele on väga olulised kahjurite arvukust reguleerivad kiletiivalised parasitoidid (*Hymenoptera*). Erinevalt röövtoidulistest putukatest, kelle tegevus vähendab kiiresti kahjurite arvukust, ei ilmne parasitoidide kasu alati kohe vaid on ajalise viibega – nad vähendavad kahjurite järgmise põlvkonna arvukust ja seeläbi panustavad kahjuri arvukuse stabiilsesse ja pikaajalisse kontrolli all hoidmisesse. Samas, valmikute parasitoidid vähendavad ka n-ö jooksva aasta kahjurite arvukust ja ka parasiteeritud kahjuri vastsete immobiliseerimine ning vähenenud toitumine aitavad kaasa jooksva aasta saagikao vähenemisele. Sarnaselt teiste koinobiontsete parasitoididega ründavad peitkärsakate parasitoidid kahjurit vastse staadiumis, mille tulemusel väheneb kahjuri poolt tekitatav kahju samal aastal ning lisaks vähendavad nad oluliselt järgmise aasta populatsiooni suurust, kuna parasiteerituse tagajärjel peremeesorganism alati hukub (Ulber, 2003).

Rapsi kahjuritega seotud parasitoidide on varasemalt uuritud nii Eestis kui ka mujal Euroopas, aga varasemad teadusuuringud on peamiselt vaadelnud naeri-hiilamardika ja kõdra-peitkärsaka parasiteeritust. Varre-peitkärsaka parasiteerituse tasemetest Eestis andmed puuduvad. Samas on Ulberi (2003) uurimistöös leitud, et nii *C. napi* kui ka *C. picitarsis* parasiteerituse tasemed võivad küündida kuni 90%-ni. Varre-peitkärsaka puhul on leitud Saksamaal, Poolas ja

Ühendkuningriigis, et parasiteerituse tase varieerub vahemikus 10–57% (Ulber jt, 2010). Kahjuks puuduvad uuemad andmed rapsi varrekahjurite parasiteerituse osas. Rapsi teiste kahjurite osas tehtud uuringud aga kinnitavad, et parasitoidid võivad olla efektiivsed kahjurite vähendamises. On leitud, et parasitoidide poolt pakutava kahjuritõrje läbi on vähenenud kahjuri arvukus 20–50% (Ulber jt, 2010), kuid on ka leitud 90%-list parasiteerituse taset (Veromann jt, 2011). Kõrged parasiteerituse määrad viitavad sellele, et parasitoididel on märkimisväärne mõju kahjurite populatsioonidünaamikale (Gillespie jt, 2019; Hawkins, Cornell, 1994; Thies jt, 2008).

Meie teadmised parasitoidide talvituspaikadest ja alternatiivsetest peremeesorganismidest on piiratud, kuid selles osas teadustöö jätkub. Näiteks on teada, et kõdra-peitkärsaka peamised parasitoidid ei talvitu põllumullas, vaid valmikuna põllumajanduslikul maastikul, kuid samas *C. napi* parasitoidid talvituvad põllumullas nukuhällis ning väljuvad sealt järgmise aasta kevadel (Ulber jt, 2010). Liigispetsiifiliste elutingimuste loomine parasitoididele on keeruline, mistõttu on oluline teadlikumalt tegutseda kogu põllumajandusmaastikul. Põllumajandusmaastikul teostatavad tööd ei tohiks ohustada organisme, kellega on võimalik üheskoos kahjureid tõrjuda. Põldude ümbruses peaks olema maastikuelemendid, mis soodustavad ja toetavad parasitoidide esinemist, pakuvad neile toidu-, varje-, talvitumispaku ja alternatiivseid peremeesorganisme, et tagada elujõulised ja tugevad populatsioonid. Parasitoidide, nagu ka teisi kasulikke liike, toetab integreeritud taimekaitse põhimõtete rakendamine. Lisaks on oluline teada ka kahjureid soodustavaid tegureid (näiteks talvituspaiga eelistus, levimisraadius), seeläbi saab antud aspekte vältida, kuid kindlasti on oluline järjepidev kahjurite seire põllul. Luues, taastades ja säilitades mitmekesist elukeskkonda põldude ümber püsivate maastikuelementide ning looduslike ja poollooduslike kooslustega, saame tuua elurikkuse tagasi põllumajandusmaastikku.

Kokkuvõte

Rapsi kahjustavad kogu tema kasvuperioodi jooksul mitmed erinevad peitkärsakad, kahjustades taime erinevaid osi, mistõttu võib nende tõrje olla keeruline ja väljakutset pakkuv. Peamiselt varres tegutsevate peitkärsakate arvukus on viimastel aastatel tõusnud, kuid teadmised nende võimalikest looduslikest vaenlastest on kasinad. Mitmekesine põllumajandusmaastik, kus põllud on eraldatud erinevate maastikuelementidega ja poollooduslike- ja looduslike kooslustega, soodustab tootjatele kasulike organismide esinemist ja nende arvukust, aitab vähendada kulusid taimekaitsevahenditele ja vähendab keskkonna saastamist põllumajanduskeemiaga.

Tänuavaldus

Tööd toetas Eesti Teadusagentuuri projekt PRG1056 'Uudne jätkusuutlik RNAi-tehnoloogial põhinev lahendus rapsikahjurite tõrjeks' ja Euroopa Liidu teadus- ja innovatsiooniprogrammi Horizon 2020 toetuslepingu no. 822314 (FRAMEwork).

Kasutatud kirjandus

- Alford, D.V., Nilsson, C., Ulber, B. 2003. Insect Pests of Oilseed Rape Crops. – Biocontrol of Oilseed Rape Pests (ed.) D.V. Alford. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, lk 9–42.
- Dechert, G., Ulber, B. 2004. Interactions between the stem-mining weevils *Ceutorhynchus napi* Gyll. and *Ceutorhynchus pallidactylus* (Marsh.) (Coleoptera: Curculionidae) in oilseed rape. – Agricultural and Forest Entomology 6, pp 193–198.
- eElurikkus, 2023. <https://elurikkus.ee/> (19.01.2023).
- Free, J.B., Williams, I.H. 1978. A survey of the damage caused to crops of oil-seed rape (*Brassica napus* L.) by insect pests in south-central England and their effect on seed yield. – Journal of Agricultural Science 90, 417.
- Gillespie, D.R., Broadbent, A.B., Mason, P.G., Haye, T., Clarke, P., Goettel, M.S., Leung, B. 2019. Use of life tables to predict the impact of introducing exotic parasitoids, against the cabbage seedpod weevil in North America. – Biocontrol Science and Technology 29, pp 940–964.
- Gratwick, M. 2012. Crop Pests in the UK: Collected edition of MAFF leaflets. Springer Science & Business Media, lk 182–190.
- Hawkins, B.A., Cornell, H.V. 1994. Maximum Parasitism Rates and Successful Biological Control. – Science 266, pp 1886–1886.
- Hayn, W. 1970. *Ceutorhynchus leprieuri* Brisout und *Ceutorhynchus sulcicollis* Paykull (Coleoptera: Curculionidae). – Contributions to Entomology: Beiträge zur Entomologie 20, pp 225–300.
- Juran, I., Gothlin Čuljak, T., Grubišić, D. 2011. Rape Stem Weevil (*Ceutorhynchus napi* Gyll. 1837) and Cabbage Stem Weevil (*Ceutorhynchus pallidactylus* Marsh. 1802) (Coleoptera: Curculionidae) – Important Oilseed Rape Pests. – Agriculturae Conspectus Scientificus 76, pp 93–100.
- Kovács, G. 2018. Effect of host plants and land use on cabbage seed weevil infestation and associated parasitoids. (Doktoritöö). Eesti Maaülikool, lk 1–103.
- Kovács, G., Kaasik, R., Lof, M.E., van der Werf, W., Kaart, T., Holland, J.M., Luik, A., Veromann, E. 2019. Effects of land use on infestation and parasitism rates of cabbage seed weevil in oilseed rape. – Pest Management Science 75, pp 658–666.
- Petratiene, E., Brazauskiene, I., Vaitelyte, B. 2012. The Effect of Insecticides on Pest Control and Productivity of Winter and Spring Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). – Insecticides – Advances in Integrated Pest Management In Perveen, F. InTech. DOI: 10.5772/28296. (Avaldatud: 05.01.2012)

- Reinhardt, A., Ulber, B., Vidal, S. 2014. Effect of climate change on population dynamics and damage potential of insect pests on oilseed rape. (Dokoritöö). Göttingeni Ülikool, lk 1–78.
- Seidenglanz, M., Šafář, J., Rubil, N., Ruseňáková, M., Roskóová, V. 2020. Control of cabbage stem weevil and pollen beetle with one insecticide application. – Plant Protection Science 56, pp 92–100.
- Skellern, M.P., Cook, S.M. 2018. Prospects for improved off-crop habitat management for pollen beetle control in oilseed rape. – Arthropod-Plant Interactions 12, pp 849–866.
- Sulg, S. 2019. Kõdra- ja varre-peitkärtsaka kahjustuse ja parasiteerituse tase talirapsil. (Magistritöö). Eesti Maaülikool, lk 1–48.
- Sulg, S., Kaasik, R., Willow, J., Veromann, E. 2022. Blue stem weevil (*Ceutorhynchus sulcicollis*) – a potential threat to oilseed rape production. – Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 72, pp 1–3.
- Tarang, T., Veromann, E., Luik, A., Willimas, I.H. 2004. On target entomofauna of an organic winter oilseed rape field in Estonia. – Latvijas Entomologs 41, pp 100–110.
- Thies, C., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T. 2008. Interannual landscape changes influence plant–herbivore–parasitoid interactions. – Agriculture, Ecosystems & Environment 125, pp 266–268.

AGROTEHNOLOOGILISTE VÕTETE MÕJU TAIMEHAIGUSTE ESINEMISELE SUVITERAVILJADEL JÕGEVAL 2022. AASTAL

Elina Karron, Merili Toom, Tiia Kangor, Merlin Haljak, Tiina Talve

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Karron, E., Toom, M., Kangor, T., Haljak, M., Talve, T. 2023. Impact of agrotechnological techniques on the diseases severity of spring cereals in a field experiment at Jõgeva in 2022. – Agronomy 2023.

The first objective of this work was to find out the impact of fertilization and plant protection on the severity of plant diseases of spring barley, wheat and oats in growing season 2022. The second objective was to assess which factors were important for the severity of plant diseases. Field trials were carried out at the Estonian Crop Research Institute in Jõgeva. The experiment was arranged with 9 m² plots in three replications. The different fertilizer rates, chemical treatments and varieties of spring cereals were used. The spring cereals infected with plant diseases in booting and early milk growth phase. The variety and fertilization influenced the severity of powdery mildew of barley and wheat, and scald of barley also. Plant protection has significant effect on the severity of tan spot of wheat. The variety affected severity of Pyrenophora leaf blotch of oats.

Keywords: spring cereals, plant diseases, fertilization, plant protection

Sissejuhatus

Teraviljade kasvupind on viimased kümme aastat olnud Eestis tõusutrendis. Kui 2013. a oli see 311,0 tuh hektarit, siis 2022. a 361,7 tuh hektarit (Eesti Statistikaamet). Samas on suviteraviljade osakaal teraviljade kasvupinnast vähenenud, kui 2013. a moodustas suviteravili 81% kogu teraviljade kasvupinnast (Põllumajandus, 2014), siis 2022. a ainult 43% (Eesti Statistikaamet). Võrreldes 2013. a suviteraviljade kasvupinda 2022. aastaga, siis suviotra ja -nisu kasvupinnad olid vähenenud, vastavalt 39% ja 64% võrra, aga kaeral vastupidi 6% võrra suurenenud (Eesti Statistikaamet).

Taimehaigused põhjustavad teraviljadel nii saagikadu kui ka saagi kvaliteedi langust. Kuigi taimehaiguste esinemist mõjutab tugevasti taimede kasvuaegne ilmastik (Hardwick, 2002), siis ka agronoomiliste võtete kasutamine võimaldab tõsta taimede vastupanu haiguste suhtes. Nii eelvilja valik, viljavaheldus, harimisviis kui ka lämmastikuga väetamine vms mõjutavad taimehaiguste levimist ja elutsükli mullas (Rózewicz jt, 2021). Fungitsiidide kasutamine taimehaiguste tõrjeks on põllumajanduses tavapärane praktika.

Käesoleva töö esimene eesmärk oli välja selgitada lämmastikuga väetamise ja taimekaitse mõju suviotra, -nisu ja kaera taimehaiguste esinemisele 2022. a

kasvuperioodil. Teine eesmärk oli hinnata, millised faktorid on olulised taimehaiguste esinemisele.

Materjal ja meetodika

Põldkatse asus Eesti Taimekasvatuse Instituudi Jõgeva katsepõllul gleistunud leetjal (K_1) keskmise liivsavi lõimisega (Is_2) mullal. Katseala künti 2021. a sügisel. 2022. a. kevadel ala kultiveeriti, enne külvi anti mulda kompleksväetis Yara Mila 20–5–15 vastavalt lämmastiku (N) väetamisfooni skeemile:

- ▶ 1) $N0$ – väetamata ala ($N0-P_2O_5\ 0-K_2O\ 0$);
- ▶ 2) $N60$ – väetise füüsiline kogus oli $300\ kg\ ha^{-1}$ ($N60-P_2O_5\ 15-K_2O\ 45$);
- ▶ 3) $N100$ – $500\ kg\ ha^{-1}$ ($N100-P_2O_5\ 25-K_2O\ 75$);
- ▶ 4) $N140$ – $700\ kg\ ha^{-1}$ ($N140-P_2O_5\ 35-K_2O\ 105$).

Puhitud seeme külvati 2. mail. Kasvatati suviotra sorte 'Tuuli' ja 'Iron' (külvisenorm 500 idanevat $tera\ m^{-2}$), suvinisu sorte 'Voore' ja 'Licamero' (külvisenorm 600 id.t. m^{-2}) ning kaera sorte 'Kusta' ja 'Caddy' (külvisenorm 500 id.t. m^{-2}). Ühe katselapi suurus oli $9\ m^2$. Kõik sordid külvati kolmes korduses.

Taimekaitse variante oli kaks:

- ▶ 1) TK1 – ainult umbrohutõrje koos biostimulaatoriga, kasvuregulaatorit, lehevätisi ja fungitsiide ei kasutatud;
- ▶ 2) TK2 – umbrohutõrje koos biostimulaatoriga, lisaks kasutati kasvuregulaatorit ning fungitsiide koos lehevätisega (tabel 1).

Umbrohutõrje nii TK1 kui ka TK2 variandis tehti võrsumise faasis (kasvufaas 23–29) 7. juunil (tabel 1). Variandis TK2 töödeldi taimikut 10. juunil (kasvufaas 29–30, võrsumise lõpp, kõrsumise algus) kasvuregulaatori ja lehevätisega. Edasipidi tehti taimehaiguste tõrje järgneva skeemi järgi:

- ▶ suvinisul 16. juunil (kasvufaas 30–32, kõrsumine) ja 4. juulil (kasvufaas 51–55, loomine);
- ▶ suviotral ja kaeral 30. juunil (kasvufaas 44–47, viljatupe paisumine).

Neli väetamisfooni olid mõlemas, nii TK1 kui ka TK2 variandis. Taimahaigusi hinnati 16. juunil (kasvufaas 30–32, kõrsumine), 30. juunil (kasvufaas 44–47, viljatupe paisumine) ja 11. juulil (kasvufaas 75–79, varane piimküpsus) igalt katselapilt viiel taimel. Igal taimel hinnati kolme ülemist lehte. Kokku tehti taimehaiguste hindamisi iga kord 144 lappil. Taimahaiguste intensiivsust hinnati skaala 0–100% järgi (Line, 2012), kus 0 oli ilma haigustunnusteta ja 100% – kogu leht oli haigusega täielikult nakatunud. Ilmastikuandmed koguti Ilmateenistusest (Ilmateenistus.ee). Katsefaktorite (sordi, taimekaitse ja väetamise) olulisuse mõju analüüsiti Excelis ühefaktorilise dispersioonanalüüsiga ANOVA (one-way ANOVA), kus usaldusnivoo oli $p < 0,05$.

Tabel 1. Põldkatse taimekaitse skeem 2022. a

Taimekaitse variandid	TKI	TK2
umbrohu tõrje + biostimulaator	7. juuni: Pixxaro EC 0,25 l ha ⁻¹ + Granstar Premia 50SX 15 g ha ⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha ⁻¹ + Kemiwett 50 ml 100 l lahusele.	7. juuni: seguga Pixxaro EC 0,25 l ha ⁻¹ + Granstar Premia 50SX 15 g ha ⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha ⁻¹ + Kemiwett 50 ml 100 l lahusele.
kasvuregulaator+leheväetis		10. juuni: seguga kasvuregulaator CCC 0,5 l ha ⁻¹ + Nutricomplex 18–18–18, 5 kg ha ⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha ⁻¹
suviniisu, haigustõrje+leheväetis		16. juuni: seguga Balaya 0,5 l ha ⁻¹ + Flexity 0,25 l ha ⁻¹ + Nutricomplex 18–18–18, 5 kg ha ⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha ⁻¹ 4. juuli: seguga Variano Xpro 1 l ha ⁻¹ + Nutricomplex 18–18–18, 5 kg ha ⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha ⁻¹
suviodral ja kaeral haigustõrje + leheväetis		30. juuni: seguga Priaxor 1,25 l ha ⁻¹ + Nutricomplex 18–18–18, 5 kg ha ⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha ⁻¹

2022. aasta ilmastikutingimused Jõgeval

2022. a mai keskmine õhutemperatuur kujunes 1,2 °C võrra madalamaks kui kliimanormi (1991–2020) keskmine õhutemperatuur (10,9 °C) (tabel 2). Maikuu I dekaad oli kuiv, aga II ja III dekaad vihmased. Juuni keskmised õhutemperatuurid püsisid normi piires, kuu viimane dekaad oli väga soe, +5,1 °C võrra kõrgema temperatuuriga võrreldes kliimanormi keskmisega. Sademeid oli juuni I dekaadil rohkesti, 39,6% üle normi. Seejärel püsis kuivem periood ning kuu lõpp kujunes juba põuaseks (juuni III dekaad sadas vaid 0,7 mm). Juuli alguse õhutemperatuurid jäid normi piiresse, kuid siis langesid (II dekaad keskmiselt 1,7 °C ja III dekaad 0,2 °C võrra madalamale). Sademete poolest oli juulikuu algus kuiv (sadas 5,6 mm), II dekaadis sadas rohkesti (141,1% kliimanormist) ning kuu lõpp oli taas kuivem (sadas 12,2 mm). Augusti I dekaadi keskmine õhutemperatuur püsis 0,1 °C võrra madalam kui kliimanorm, ent II ja III dekaadil muutus ilm taas kuumaks. Nendel dekaadidel tõusis õhutemperatuur vastavalt 5,5 °C ja 3,3 °C võrra kõrgemale kui kliimanormi keskmine õhutemperatuur. Samal ajal sadas vihma vähe (22,7 mm) ja kuu II dekaadis ei sadanud üldse. Augustikuu III dekaadis sadas vihma 39,8% võrra enam võrreldes pikajalise sademete normiga.

Tabel 2. Ilmastiku andmed Jõgeva katsealal 2022. aasta kasvuperioodil

Kuu	Dekaad	Keskm. õhutemperatuur, °C	Erinevus kliimanormist*	Sademete summa, mm	Erinevus kliimanormist %
Mai	I	7,7	-1,4	1,6	14,8
	II	9,6	-1,3	21,4	118,7
	III	11,6	-1,0	32,4	198,1
Keskmine		9,7	-1,2	55,4	122,5
Juuni	I	14,2	0,3	25,3	139,6
	II	15,3	0,3	21,3	60,6
	III	20,7	5,1	0,7	2,3
Keskmine		16,9	1,9	47,3	56,3
Juuli	I	18,4	1,5	5,6	26,6
	II	15,7	-1,7	32,1	141,1
	III	18,0	-0,2	12,2	58,6
Keskmine		17,4	-0,1	49,9	77,2
August	I	17,3	-0,1	22,7	78,5
	II	21,2	5,3	0	0
	III	18,2	3,3	40,3	139,8
Keskmine		18,9	2,9	63,0	70,6

* – kliimanorm (1991–2020)

Tulemused

Suvioder. 2022. a nakatus suvioder kõrreliste jahukastesse (*Blumeria graminis*), kõrreliste pruunlaiksusesse (*Cochliobolus sativus*) ja äärislaiksusesse (*Rhynchosporium graminicola*) (tabel 3). Taimede kasvufaasides avaldus taimehaiguste intensiivsus erinevalt. Kõrreliste jahukastesse olid taimed kõrsumisfaasis vähem nakatunud, kuid intensiivsemalt viljatupe paisumise ja piimküpsuse faasis, vastavalt, 11, 51 ja 51%. Kõrreliste pruunlaiksusesse toimus intensiivsem nakatumine piimküpsuse faasis (3,3%). Äärislaiksusesse nakatusid taimed viljatupe paisumise ja piimküpsuse kasvufaasides (1%). Suviodra sordid haigestusid taimehaigustesse erinevalt (tabel 3). Sort 'Tuuli' nakatus oluliselt vähem jahukastesse kui 'Iron', vastavalt 26% ja 46% (tabel 4). Äärislaiksusesse nakatus vähesel määral ainult sort 'Tuuli' (2%). Taimekaitsel ei olnud mõju kõrreliste pruunlaiksusesse ja äärislaiksusesse nakatumisele (tabel 3). Kuid jahukastesse nakatumisel esines trend, kus TK1 variandis oli nakatumine intensiivsem (43%) võrreldes TK2 variandi taimedega (33%) (tabel 4).

Väetamine mõjutas suviodra nakatumist jahukastesse (tabel 3). Vähem nakatunud olid taimed N0 (21%) ja N60 (27%) variantides ning enam N100 (45%) ja N140 (58%) variantides (tabel 4). Suuremate väetamisnormide puhul nakatus oder ka vähesel määral äärislaiksusesse (N100 – 1% ja N140 – 2%). Väetamine ei mõjutanud kõrreliste pruunlaiksusesse nakatumist.

Suvioder nakatus taimehaigustesse intensiivselt viljatupe paisumise ja piimküpsuse kasvufaasides. Sordi vastuvõtlikkus haigusele ja ka väetamine mõjutasid nakatumist jahukastesse ja äärislaiksusesse.

Tabel 3. Katsevariandi mõju (F kriteerium) taimehaigusesse nakatumisele ja statistiline usutavus

Kultuur	Taimehaigus	Sort	Taimekaitse	Väetamine
suvioder	jahukaste	18,98***	2,96 ns	10,75**
	pruunlaiksus	2,74 ns	1,99 ns	1,22 ns
	äärislaiksus	15,24***	0,31 ns	5,12**
suvinisu	jahukaste	7,55**	1,96 ns	3,80*
	nisu- pruunlaiksus	0,79 ns	18,60***	1,19 ns
	helelaiksus	0,14 ns	3,53 ns	0,11 ns
kaer	kaera	16,38***	2,04 ns	1,68 ns
	pruunlaiksus			

Statistiline olulisus: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$; ns – mitteusutav

Suvinisu. Suvinisu nakatus nisu-pruunlaiksusesse (*Pyrenophora tritici-repentis* (*Drechlera tritici-repentis*)), kõrreliste jahukastesse (*Blumeria graminis*) ja kõrreliste helelaiksusesse (*Septoria tritici*). Nisu-pruunlaiksusesse nakatumine oli intensiivne (30%) taimede piimküpsuse faasis. Nisu sordid nakatusid nisu-pru-

Tabel 4. Suviõdra, -nisu ja kaera taimuhaigustesse nakatumise tugevus (%) Jõgeva pikaajalises katses 2022. a.

Kultuur	Taimuhaigus	Sort		*Taimekaitse				**Väetamine				
		Tuuli	Iron	usutavus	TK1	TK2	usutavus	N0	N60	N100	N140	usutavus
Suviõder	Jahukaste	26	49	***	43	33	ns	21	27	45	58	***
	Pruunlaiksus	2	1	ns	2	1	ns	2,1	2,1	1,4	0,7	ns
	Äärislaiksus	2	0	**	1	1	ns	0	0,2	1	2,1	**
Suvinisu	Voore Licamero											
	Jahukaste	8	3	**	7	5	**	2	5	7	10	ns
	Helelaiksus	13	11	ns	18	6	ns	16	13	12	8	*
	Nisu-pruunlaiksus	1,1	1,4	***	2	0	ns	3	1	0	0	ns
Kaer	Kusta Caddy											
	Kaer-pruunlaiksus	9	3	***	7	5	ns	6	7	8	3	ns

Statistiline olulisus: *** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05; ns – mitte usutav

* TK1 ja TK2 keskmisena

** Väetusvariantide keskmisena

unlaiksusesse sarnase intensiivsusega, 'Voore' 13% ja 'Licamero' 11%. Taimekaitse mõjutas nisu-pruunlaiksusesse nakatumist oluliselt (tabel 3), TK1 variandis oli haiguse intensiivsus 18% ja TK2 variandis 6% (tabel 4). Kuigi väetamisel statistiliselt usutavat mõju nisu-pruunlaiksusesse nakatumisel polnud (tabel 3), siis esines trend, et N140 (8%, tabel 4) variandis olid taimed nisu-pruunlaiksusesse vähem nakatunud kui N0 (16%, tabel 4) variandis. Kõrreliste jahukastesse nakatus suvinisu kõige intensiivsemalt kõrsumisfaasis (16%), kuid hilisemates kasvufaasides haigus taandus. Seejuures sordid nakatusid jahukastesse erinevalt (tabel 3). Madalama intensiivsusega nakatus jahukastesse suvinisu sort 'Licamero' (3%) ning kõrgemaga 'Voore' (8%) (tabel 4). Taimekaitse ei mõjutanud nisu nakatumist jahukastesse (tabel 3). Küll aga mõjutas jahukastesse nakatumise intensiivsust väetamine (tabel 3). Väetamise variantides N100 ja N140 nakatus suvinisu jahukastesse intensiivsemalt: N100 – 7% ja N140 – 10%, (tabel 4), kuid N0 ja N60 variantides vastavalt N0 – 2%, N60 – 5%. Kõrreliste helelaiksusesse nakatus suvinisu alles piimküpsuse faasis TK1 variandis (3%).

Suvinisu kasvufaasides nakatusid taimed erinevate taimehaigustega. Seejuures nisu nakatumist jahukastega mõjutasid sordi vastuvõtlikkus haigusele ja väetamine. Nisu-pruunlaiksusesse nakatumist mõjutas vaid taimekaitse.

Kaer haigestus ainult kaera-pruunlaiksusesse (*Pyrenophora avenae*). Taimed nakatusid intensiivselt piimküpsuses (13%), kusjuures kaera sort 'Kusta' (9%) nakatus intensiivsemalt kui 'Caddy' (3%). Kaera-pruunlaiksusesse nakatumist ei mõjutanud taimekaitse (TK1 – 7% ja TK2 – 5%) ega väetamine (N0 – 6%, N60 – 7%, N100 – 8%, N140 – 3%) (tabel 4). Kaera-pruunlaiksusesse nakatusid sordid piimküpsuses erineva intensiivsusega. Taimekaitse ja väetamine haiguse intensiivsusele mõju ei avaldanud.

Arutelu

2022. aasta kasvuperioodi ilmastik oli üsnagi heitlik. Kevadel püsis suhteliselt madal õhutemperatuur ja oli vihmane. Suviviljad tärkasid kaua ja esialgne lehtede ja võrsete kasv oli aeglane. Niiskus ja jahedus soodustas lopsakate taimede arengut. Juunikuu keskel algas sademetevaene periood, mis kestis juuli keskpaigani. Seejärel sadas rohkesti ning juba kuu lõpus valitses taas kuivus, mis muutus augustis põuaks. Õhutemperatuurid püsisid juunis normi piires, kuid enamus juulikuust ja ka augusti algus olid veidi jahedamad. Ilmastik, lehemassi rohked taimed ning kõrged lämmastikunormid soodustasid just jahukaste arenemist suviödraal ja -nisul (Sooväli, Kann, 2018). Teiste taimehaiguste esinemine taimede varases kasvufaasis oli tagasihoidlikum. Juuli teise dekaadi tavapärasest suurem sademete hulk soodustas taimehaigustesse nakatumist viljatupe paisumise ja piimküpsuse faasis. Sarnaselt on leitud ka varasemates uuringutes, et

ilmastikutingimused mõjutavad taimehaigustesse nakatumist oluliselt, mistõttu suviviljadel võib mõnel aastal taimehaigustesse intensiivsem nakatumine toimuda hilisemates kasvufaasides (Sooväli, Koppel, 2017). Kõrgetel lämmastikufoonidel võib taimede vastuvõtlikkus seenhaigustele rohke biomassi ja soodsa mikrokliima tõttu suurene da (Neumann jt, 2004; Simón jt, 2020). Siiski oli väetamise mõju suviteravilja nakatumisele taimehaigustesse vastuoluline. Jahukastesse nakatumine suurenes suuremate lämmastikunormide kasutamisel nii suviodral kui -nisul. Ka äärislaiksusesse nakatus suvioder kõrgemal lämmastikufoonil. Samas kõrreliste pruunlaiksus odral ja nisu-pruunlaiksus ning helelaiksus suvinisul näitasid kõrgetel väetusfoonidel pigem nakatumise vähenemise trendi. Sellist vastuolu võis põhjustada olukord, kus vastava lehehaiguse tüübile olid ilmastikutingimused ning kättesaadavad toitelementide normid väetamisvariantides taimedele erinevates kasvufaasides sobivad (Simón jt, 2020).

Odra nakatumist jahukastesse ja äärislaiksusesse mõjutasid sordi haiguskindlus ja väetamine. Varasemad uuringud kinnitavad meie tulemust, kus suviodra sortidel esines erinev vastuvõtlikkus taimehaiguste suhtes (Statkevičiūtė, Leistrumaitė, 2010; Sooväli, Koppel, 2008). Kuna nakatumine pruunlaiksusesse ja äärislaiksusesse oli väga madal, ei tulnud esile ka taimekaitse mõju haiguste tõrjeks. Ka Sooväli (2012) järelda b suviodra ja kaera katsete tulemusi analüüsid es, et taimekaitse tegemine on põhjendatud taimehaigustesse nakatumise teatud tasemel. Suviodra nakatumine jahukastesse oli siiski kõrge, kuid taimekaitse vähene mõju nakatumisele oli ilmselt põhjustatud ühekordsest haigustõrjest, mis tehti alles lehetupe paisumise faasis ja ka ilm oli jahukaste arengule ebasoodsalt kuiv. Juulikuu teise dekaadi sademete hulk ning jahedam ilm soodustasid jahukaste intensiivset levimist taimedel.

Suvinisu nakatus jahukastesse kõrsumisfaasis ning nisu-pruunlaiksus ja helekaiksus avaldusid alles piimküpsuses. Kolmeaastases suvinisu taimehaiguste uuringust selgus, et kuigi kasvuperioodi ilmastik mõjutas nii jahukastesse kui ka nisu-pruunlaiksusesse nakatumist, siis jahukastesse nakatumisele oli ilmastiku mõju tugevam. Suvinisu igal aastal jahukastesse ei nakatunud (Sooväli jt, 2013). Meie katses mõjutas jahukastesse nakatumist ka sordi haiguskindlus ja väetamine ning sarnasele järelduseni on jõutud ka varasemates uuringutes (Sooväli, Kann, 2018). 2022. aastal tehti suvinisule fungitsiididega kaks tõrjet, üks kõrsumise faasis ja teine lehetupe paisumise ajal. Selline taimekaitse skeem vähendas üksnes nisu-pruunlaiksuse esinemist. Suvinisu sortide resistentsust jahukaste, nisu-pruunlaiksuse, helelaiksuse ja kollase rooste suhtes selgitati 2017. ja 2018. aasta sordivõrdluses (Islamov, Ingver, 2019). Saadud tulemused näitasid, et Eestis on võimalik kasvatamiseks valida ka kompleksresistentsusega suvinisu sorte ja seeläbi vähendada keemilise taimekaitse vajadust (Islamov, Ingver, 2019).

2022. a nakatus suviteraviljadest taimehaigustega kõige vähem kaer, kus kaera-pruunlaiksusesse nakatusid taimed piimküpsuse kasvufaasis ja sortidel avaldus erinev haiguskindlus. Taimekaitse ega ka väetamine kaera puhul haigestumist ei mõjutanud. Sarnaselt on leidnud ka Sooväli (2012), et mõned kaerasordid on taimehaiguste suhtes haiguskindlamad ning vajavad seetõttu ka vähem taimekaitset. Samuti on selgunud, et fungitsiidide kasutamine kaera-pruunlaiksuse tõrjeks kaera hilises kasvufaasis pole enam efektiivne (Sooväli 2012).

Kokkuvõte

2022. aastal mõjutasid suviteraviljade taimehaigustesse nakatumist nii sordi valik, taimekaitse kui ka väetamisfoonid. Intensiivsem suviviljade taimehaigustesse nakatumine toimus juuli teises pooles. Sortide erinev vastuvõtlikkus taimehaigustele avaldus kõikidel suvivilja liikidel. Siiski, kaer oli taimehaigustele vähem vastuõtlik kui suvioder ja -nisu. Taimekaitse haigusi pärssiv mõju tuli esile vaid suvinisu variantides. Suviodral ja -nisul suurendasid kõrged väetamisfoonid vastuvõtlikkust jahukastesse nakatumisele.

Tänuavaldused

Katse läbiviimist toetasid Eesti Taimekasvatuse Instituut, Baltic Agro Eesti ja Yara Eesti. Avaldame tänu Eesti Taimekasvatuse Instituudi Jõgeva agronoomile ja masinameestele.

Kasutatud kirjandus

- Eesti Statistikaamet https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__pellumajandus__pellumajandussaaduste-tootmine__taimekasvatussaaduste-tootmine/PM0281 (10.01.2023)
- Hardwick, N.V. 2002. Weather and plant diseases. – *Weather* 57, pp 184–190.
- Ilmateenistus.ee <https://www.ilmateenistus/ilm/ilmavaatlused>
- Islamov, B., Ingver, A. 2019. Seenhaiguste esinemine Eestis kasvatatavatel suvinisu sortidel. – *Agronomia* 2019, lk 138–142.
- Neumann, S., Paveley, N.D., Beed, F.D., Sylvester-Bradley, R. 2004. Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* epidemics in winter wheat. – *Plant Pathology* 53, pp 725–732.
- Põllumajandus, 2014. <https://www.pollumajandus.ee/uudised/2014/04/08/teraviljaturu-2013-aasta-ulevaade>
- Rózewicz, M., Wyzińska, M., Grabiński, J. 2021. The most Important Diseases of Cereals—Problems and Possible Solutions. – *Agronomy* 11, 174, pp 1–12.
- Simón, M.R., Fleitas, M.C., Castro, A.C., Schierenbeck, M. 2020. How Foliar Fungal Diseases Affect Nitrogen Dynamics, Milling, and End-Use Quality of Wheat. – *Frontiers in Plant Science* 11, pp 1–23.

- Sooväli, P., Koppel, M. 2008. Influence of fungicides and variety resistance on fungal flora of barley grain. – *Zemdirbyste Agriculture* 95 (3), pp 158–165.
- Sooväli, P. 2012. Integreeritud taimekaitse kasutamine odral ja kaeral. – *Agraarteadus* XXIII 1, lk 55–62.
- Sooväli, P., Kangor, T., Koppel, R., Ingver, A., Tamm, I. 2013. Spring Wheat Disease and Yield Responses to Nitrogen Fertilization and Chemical Treatments. – *Journal of Agricultural Science and Technology A* 3, pp 290–296.
- Sooväli, P., Koppel, M. 2017. Taimenhaiguste monitooringu tulemused 2014–2016. a. – *Taimekasvatusalased uuringud Eestis* 2017, lk 139–146.
- Sooväli, P., Kann, L. 2018. Põllukultuuride kahjustajad ja nende tõrje. (toim.) A. Toe, S. Tamm. Eesti Taimikasvatuse Instituut, 55 lk.
- Statkevičiūtė, G., Leistrumaitė, A. 2010. Modern varieties of spring barley as a genetic resource for disease resistance breeding. – *Agronomy Research (Special Issue III)* 8, pp 721–728.

HERBITSIIDIDE MÕJUST SOJAOA TAIME PIKKUSELE, SEEMNESAAGILE JA SELLE KVALITEEDILE

Tiia Kangor, Lea Narits

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Kangor, T., Narits, L. 2023. Impact of herbicides on plant height, seed yield and quality of soybean. – Agronomy 2023.

The soybean is quite rare crop in Estonia, but this may change due to climate warming. It is known that soybean is sensitive to herbicides. The aim of this study was to evaluate the impact of herbicides on plant height (PH), seed yield (SY), 1000 seed weight (TSW) and crude protein content (CPC) of soy. The experiment was conducted with 1 m² plots in three replications at the Estonian Crop Research Institute in 2022. We used 10 variants of herbicide treatments (in V2 Metric 1.0 l ha⁻¹; V3 Metric 1.25 l ha⁻¹; V4 Metric 1.5 l ha⁻¹; V5 Metric 1.5 l ha⁻¹ + Delfan Plus 1.0 l ha⁻¹; V6 Stomp 1.0 l ha⁻¹; V7 Stomp 1.0 l ha⁻¹ + Benta 2.0 l ha⁻¹; V8 Stomp 1.0 l ha⁻¹ + Benta 2.0 l ha⁻¹ + Delfan Plus 1.0 l ha⁻¹; V9 was once Corum 1.25 l ha⁻¹ + Dash 1.0 l ha⁻¹; V10 twice Corum 0.625 l ha⁻¹ + Dash 0.9 l ha⁻¹; V11 once Corum 1.25 l ha⁻¹ + Dash 1.0 l ha⁻¹ + Delfan Plus 1.0 l ha⁻¹) and a control V1 (manual weeding) as well.

The results showed that there was no negative impact of herbicides on PH of soy compared to control. Furthermore, using herbicides the PH was significantly higher in V2, V3, V5 and V11 than in V1. In V5, the herbicide had the most positive effect on SY of soybean, but SY in V6, V7, V8 remained at the same level as SY in V1. The most negative impact of herbicides occurred on soy TSW, and compared to TSW in V1 this characteristics remained lower in all variants except TSW in V4–V6 and V9–V11. However, the CPC was high in V7, V9 and in variants where we used Delfan Plus (V8, V11).

Keywords: soybean, herbicides, plant height, seed yield and quality

Sissejuhatus

Sojauba (*Glycine max.* (L.) Merr.) on Eestis veel vähelevinud põllukultuur, kuid kliima muutumisel nihkub soojalembeste kultuuride kasvuala järjest enam põhja poole ning on tõenäoline, et ka sojat hakatakse Eestis üha enam viljelema. Mujal maailmas on soja tuntud peamiselt kui väärtuslik valgu- ja õlikultuur (Messina, 2016), mille kasvupind ulatus 2020. a 126 milj ha ja kogutoodang 350 milj t (Ritchie, Roser, 2021). Eestis kasvanud GMO vaba soja sobib lisaks söödale ka toiduks (Eesti Sojaliidu koduleht) ja juba 15 aastat tagasi ilmusid meie kauplustesse kodumaised sojatooted. Paraku mitme teguri kokkulangemisel nende toodete levik soikus. Üks põhjustest võis olla ka see, et sojat ei ole Eesti tingimustes nii lihtne kasvatada nagu näiteks teisi kaunvilju. Samas puuduvad sojal siin sellised ohtlikud kahjurid, nagu on põldoal teramardikas ja hernel mähkur, mis annabki sellele kultuurile eelise ja võimaluse viljeleda sojauba vähendatud taimekaitseprogrammiga. Liblikõieliste kaunviljade kasvatamine, kui kohaliku

valgurikka sööda ja toiduga varustamine, kujuneb järjest enam oluliseks kallinevate tootmissisendite ja süsiniku jalajälje arvestamise tingimustes.

Teada on, et soja on herbitsiidide suhtes üks tundlikumaid kaunvilju ja mitmed sobivad preparaadid on nn roheleppe käigus turult juba kadunud või kadumas. Sojaoa algareng on väga aeglane ja see kultuur ei suuda nii edukalt nagu mõni teine umbrohtusid alla suruda (Datta jt, 2017). Uuringud on näidanud, et umbrohud võivad sojaoa saaki vähendada kuni 50% (Soltani jt, 2017). Liakat jt (2020) selgitasid välja, et soja on kõige tundlikum umbrohtumuse suhtes eelkõige 4–7 nädalal pärast tärkamist. Samas Datta jt (2017) leidsid, et soja on tundlik umbrohtumuse suhtes kohe pärast tärkamist.

Autorite arvates on antud teema uurimine hädavajalik, eriti kui arvestada, et eestikeelsed artiklid selles valdkonnas praktiliselt puuduvad.

Töö eesmärk oli välja selgitada käesoleval hetkel Eestis saada olevad, sojaole sobivad ja efektiivsed herbitsiidid, mis ei vähendaks seemnesaaki ja saagi kvaliteeti. Samuti uuriti herbitsiidide mõju sojaoa taime pikkusele.

Materjal ja metoodika

Katse viidi läbi 2022. a Eesti Taimakasvatuse Instituudi (ETKI) Jõgeva põldkaunviljade aretuspõllul. Katsealal oli leostunud raske liivsavi lõimisega muld. Mulla keemiline analüüs tehti Põllumajandusuuringute Keskuse Agrokeemia laboris. Tulemused olid järgmised: mulla pH_{KCl} oli 6,1; C_{org} sisaldus 1,8%; P 248; K 222; Ca 1959; Mg 102; Cu 1,8; Mg 102; Mn 132; B 0,9 mg kg^{-1} . Eelvili oli talioder.

Katse külvati 5. mail sojaoa sordiga 'Laulema' kolmes korduses 1 m^2 lapidele. Külvieelselt väetati katseala NPK (8-20-30) kompleksväetisega 300 kg ha^{-1} , mis oli toimeainena N 24, P 26, K 75 ja S 2,4 kg ha^{-1} . Soja külvisenorm oli 30 idanevat seemet ruutmeetrile. Katsevariandid olid:

- ▶ V1 kontroll, herbitsiidita ja rohiti üks kord käsitsi;
- ▶ V2 töödeldi taimikut pärast külvi (faas 00) herbitsiidiga Metric (toimeained olid klomasoon, metribusiin) 1,0 l ha^{-1} ;
- ▶ V3 töödeldi Metricuga 1,25 l ha^{-1} (faas 00);
- ▶ V4 töödeldi Metricuga 1,5 l ha^{-1} (faas 00);
- ▶ V5 töödeldi seguga Metric 1,5 l ha^{-1} + biostimulaator Delfan Plus 1 l ha^{-1} (faas 00);
- ▶ V6 töödeldi Stombiga CS (pendimetalin) 1 l ha^{-1} (faas 00);
- ▶ V7 töödeldi taimikut esimese pärislehe paari ilmunisel (faas 12) seguga Stomp CS 1 l ha^{-1} + Benta (bentasoon) 2 l ha^{-1} ;
- ▶ V8 töödeldi taimikut (faas 12) seguga Stomp CS 1 l ha^{-1} + Benta 2 l ha^{-1} + Delfan Plus 1 l ha^{-1} ;

- ▶ V9 töödeldi taimikut (faas 12) seguga Corum (imasamoks, bentasoon) 1,25 l ha⁻¹ + Dash (märgaja) 1 l ha⁻¹;
- ▶ V10 töödeldi taimikut (faas 12) seguga Corum 0,625 l ha⁻¹ + Dash 0,9 l ha⁻¹ ja seda korrati 10 päeva hiljem (faas 14) sama seguga;
- ▶ V11 töödeldi taimikut (faas 12) seguga Corum 1,25 l ha⁻¹ + Dash 1 l ha⁻¹ + Delfan Plus 1 l ha⁻¹.

Baltic Agro AS andmetel (Baltic Agro AS koduleht, 2022) ja autorite kogemustele tuginedes võib öelda, et Delfan Plus (sisaldab amiinohappeid, lämmastikku, orgaanilist ainet, orgaanilist süsinikku) leevendab herbitsiididega töötlemisest tulenevat stressi, mistõttu seda preparaati lisati herbitsiidide täisnormide kasutamisel.

Külvijärgne ilm oli jahe ja sademeterohke, eriti mai viimane dekaad (55 mm, kliimanorm aastatel 1991–2020, 45 mm). Keskmine õhutemperatuur jäi kõigis mai dekaadides normist tunduvalt madalamaks. Seevastu oli kogu juunikuu ja juuli I dekaad suviselt soojad ning normist tunduvalt kõrgema keskmise õhutemperatuuriga. Juuni keskmine õhutemperatuur oli normist 1,9 ja juuli I dekaadi temperatuur 1,5 kraadi kõrgem, kuid samal ajal sadas normist vähem ja esines ka põuda (juunis sadas normist 37 ja juuli I dekaadis 15 mm vähem). Sojataimed olid jõudnud juuli alguseks õitsemisfaasi. Kogu juuli ja augusti kaks esimest dekaadi jäid normist väiksema sademete hulgaga, vastavalt juulis 26, augusti I 6 ja II dekaadis 32 mm vähem. Sojaseemnete täitumise ajal valitsesid põuased kasvutingimused. Kuna ka august oli normist soojem, siis hakkasid seemned augusti viimasel nädalal valmima. Katse koristati 30. augustil.

Lapisaagid arvatati ümber 13% niiskusesisaldusega hektarisaakideks. Seemne kvaliteedi ja taimeanalüüsid tehti ETKI laboris. Toorproteiinisaldus määrati Kjeldahli järgi. Katseandmeid töödeldi (v.a toorproteiini sisaldus) dispersioonanalüüsi meetodil (ANOVA). Statistiliselt usutavad erinevused leiti 95% usalduspiiri juures statistikaprogrammiga Agrobase™.

Tulemused ja arutelu

Taime pikkus oli sojataimedel vahemikus 28,8 (V7) – 49,4 cm (V2) (tabel 1). Meie katses herbitsiidide usutav negatiivne mõju taime pikkusele võrreldes kontrolliga puudus, sest kontrollvariandiga V1 sarnase pikkusega taimed kasvasid ka variantides V4 (täisnormiga Metric), V6 (Stomp), V7 (Stomp + Benta), V8 (Stomp + Benta + Delfan Plus), V9 (täisnormiga Corum + Dash) ja V10 (kaks korda poole normiga Corum + Dash). Ülejäänud variantides V2, V3 (Metric vähendatud normidega), V5 (täisnormiga Metric + Delfan Plus) ja V11 (täisnormiga Corum + Dash + Delfan Plus) olid taimed kontrollist usutavalt pikemad. Williams ja Randall (2014) leidsid, et nii bentasoon (Benta toimeaine) kui ka

imasamoks (mõlemad Corumi toimeained) mõjutasid soja kasvu negatiivselt. Patel jt (2016) jällegi väitsid, et metribusiini sisaldavad herbitsiidid (üks Metricu toimeainetest) pigem soodustasid taime kasvu.

Seemnesaak varieerus erinevates variantides 69 (V7) – 411 kg ha⁻¹ (V5) (tabel 1). Soja saak oli teistest usutavalt suurim variandis V5, kus kasutati täisnormiga herbitsiidi Metric koos biostimulaatoriga Delfan Plus. Teistest variantidest oluliselt väiksemaks jäi seemnesaak lisaks kontrollvariandile V1 ka variantides V6 (Stomp), V7 (Stomp + Benta) ja V8 (Stomp + Benta + Delfan Plus). Ka biostimulaatori lisamine segusse ei andnud variandis V8 saagile positiivset efekti. Sojal on meie tingimustes küllalt pikk kasvuage. Narits (2017) järgi on see 'Laulemal' keskmiselt 123 päeva ja kuna kevad oli jahe, siis ei tärnanud kõik mullas olevad umbrohuseemned korraga, vaid osa tärkas hiljem, mil ilmaolud muutusid umbrohtudele soodsamaks. Ka käsitsi rohimine üks kord kasvuajal jäi väheseks ning seetõttu hiljem tärnanud umbrohud olid sojale konkurendid nii päikesekiirguse, valguse kui ka vee ja toitainete omastamisel jms. Kirjanduse andmetel on pendimetalini ja bentasooni (Stombi ja Benta toimeained) kasutamisel olnud erinev toime soja seemnesaagile (Raudseping, 2007; Liakat jt, 2020). Liakat jt (2020) leidsid, et sojasortidel on erinev tundlikkus bentasooni suhtes. Veelgi enam, erinevatel aastatel võib nende herbitsiidide mõju olla väga erinev (Liakat jt, 2020). Kuigi meie katses oli Metricuga variantides seemnesaak kontrollist suurem, siis kasvukambris läbi viidud uurimuses leiti klomasooni ja metribusiini koos kasutamisel soja saagile negatiivne ja taimedele osaliselt fütotoksiline mõju (Salzman, Renner, 1992). Samas Patel jt (2016) leidsid, et metribusiini sisaldavate herbitsiidide kasutamisel soja seemnesaak suurenes.

Tabelist 1 ilmneb, et Metricu vähendatud normid (V2, V3) ei andnud sama suurt seemnesaaki kui täisnormi kasutamine, sest mullaherbitsiidi toime jäi väheefektiivseks ja osa umbrohtu tärkas hiljem ja need konkureerisid sojaga. Samas jäi soja saak väiksemaks ka ilma biostimulaatorita, ainult Metricu täisnormi kasutamisel, olles sarnane variantide V9 (täisnormiga Corum + Dash), V10 (kaks korda poole normiga Corum + Dash) ja V11 (täisnormiga Corum + Dash + Delfan Plus) seemnesaakidega. Andmetest selgus, et kahekordne töötlus poole normiga Corum + Dash seguga suurendas seemnesaaki enam kui ühekordne täisnormi kasutamine.

1000 seemne mass (TSM) on seemnete kvaliteedi näitaja ja viitab sojaoa tera täitumise ajal valitsevatele kasvutingimustele. TSM iseloomustab seemne suurust, tuumakust ja raskust. Tabelis 1 esitatud 1000 seemne massid varieerusid erinevates variantides 115,4 (V3) – 147,9 g (V5). Usutavalt väiksemad näitajad olid variantides V2, V3 (Metricu vähendatud normid) ja V7 (Stomp + Benta). Variandis V8 (Stomp + Benta + Delfan Plus) oli 1000 seemne mass sarnane nii

Tabel 1. Sojaoa 'Laulema' omadused erinevates herbitsiidi variantides

Variandi nimi, pestitsiidi norm l ha ⁻¹ ; kasvufaas (f)	Taime pikkus cm	Saak 13% kg ha ⁻¹	1000 seemne mass g	Toorproteiin %	% kontrollist
V1 kontroll	33,8 abc	118 a	136,9 bc	26,3	0
V2 Metric 1; f 00	49,4 e	174 b	119,9 a	27,0	103
V3 Metric 1,25; f 00	43,8 de	192 b	115,4 a	27,0	103
V4 Metric 1,5; f 00	39,4 bc	315 cd	142,0 c	27,7	105
V5 Metric 1,5 + Delfan Plus 1; f 00	43,1 de	411 e	147,9 c	28,3	108
V6 Stomp 1; f 00	41,3 c	91 a	143,6 c	27,4	104
V7 Stomp 1 + Benta 2; f 12	28,8 a	69 a	124,3 a	29,5	112
V8 Stomp 1 + Benta 2 + Delf.Plus 1; f 12	33,1 ab	92 a	126,5 ab	30,8	117
V9 Corum 1,25 + Dash 1; f 12	40,6 bc	277 c	146,4 c	29,3	111
V10 Corum 0,625 + Dash 0,9; f 12, f 14	40,6 bc	333 d	142,6 c	28,6	109
V11 Corum 1,25 + Dash 1 + Delf.Plus 1; f 12	45,0 de	325 cd	145,7 c	31,2	119
PD _{0,05}	8,0	51	12,3		

Erinevad tähed tähistavad variantide vahelisi usutavaid erinevusi ($p \leq 0.05$)

eelnimetatud variantides kui ka kontrollvariandis V1 kasvanud 1000 seemne massiga. Ülejäänud variantide saagi 1000 seemne massid olid sarnased ning ei erinenud usutavalt ka kontrollvariandist. Skrobakova (2003) leidis, et herbitsiidide kasutamine (pendimetaliin + imasamoks + bentasoon) ei mõjutanud soja 1000 seemne massi.

Toorproteiinisaldus varieerus erinevates variantides vahemikus 26,3 (V1) – 31,2% (V11). Andmetest selgus, et soja toorproteiinisaldus võrreldes kontrollvariandiga oli oluliselt suurem nendes variantides, kus kasutati herbitsiidi täisnormidel biostimulaatorit Delfan Plus.

Kõige suurem efekt saadi Delfan Plus'i kasutamisel eelkõige nendes variantides, kus taimikut töödeldi kasvamise ajal, variandid V11 (19%) ja V8 (17%). See oli ka ootuspärane, sest antud preparaati leevendas herbitsiidide negatiivset mõju,

parandas taime füsioloogilisi protsesse, sealhulgas fotosünteesi, ning oli samal ajal toiteelementide allikaks. Ka variantides V7 ja V9 olid toorproteiinisisaldused oluliselt kõrgemad kui kontrollis V1, vastavalt 12% (V7) ja 11% (V9). Dycun jt (2020) andmetel herbitsiidide kasutamine (bentasoon ja imasamoks eraldi ja koos) ei vähendanud soja proteiinisisaldust.

Kokkuvõte

Sojaoa taime pikkus, seemnesaak ja saagi kvaliteet sõltusid suurel määral herbitsiidide valikust ja normidest. Meie poolt kasutatud herbitsiidid sojataime pikkust negatiivselt ei mõjutanud. Kõigis variantides kasvanud taimed jäid kas kontrolliga sarnaseks või usutavalt pikemaks (V2, V3, V5, V11). Suurim seemnesaak koristati variandis V5, kuid ka teistest variantidest (V2–V4, V9–V11), kus kasutati erinevate normidega Metricut ja Corum + Dashi segu, saadi kontrollist usutavalt suurem seemnesaak. Variantides (V6–V8), kus kasutati ainult herbitsiidi Stomp või segus Bentaga, jäid seemnesaagid sarnaseks kontrollile. Herbitsiidide kõige suurem negatiivne mõju oli meie katses 1000 seemne massile, sest kontrollist usutavalt väiksemaks jäi see kõigis variantides, v.a variantides V4–V6 ja V9–V11. Samas oli toorproteiinisisaldus kõrge variantides V7, V9 ja kus oli herbitsiidide segus ka Delfan Plus (V8, V11). Kuna ühe aasta katsetulemused on tugevalt mõjutatud antud aasta kasvutingimustest, siis lõppjäreldusi teha ei saa ja katset tuleb kindlasti korrata.

Tänuavaldused

Suurim tänu Reet Buddellile laboriandmete, Merko Kärbile ja Triin Saele ilmaandmete eest ning õlikultuuride ja kaunvilja rühma tublidele töötajatele, kes aitasid kaasa artikli ilmumisele.

Kasutatud kirjandus

- Baltic Agro AS koduleht. <https://www.balticagro.ee/biostimulaatorid/delfan-plus> (6.12.2022)
- Datta, A., Ullah, H., Tursun, N., Pornprom, T., Knezevic, S.Z., Chauhan, B.S. 2017. Managing weeds using crop competition in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). – *Crop Protection* 95, pp 60–68. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173109888> (8.01.2023)
- Dycun, A., Zherebko, V., Dycun, M. 2020. The effectiveness of herbicides in soybean cultivation. – *Žemes Ūkio Moksalai*, 27(3), pp 115–124. <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/zemesukiomokslai/article/view/4341> (8.01.2023)
- Eesti Sojaliidu koduleht. www.sojaliit.ee (6.12.2022)

- Liakat, A., Hyun, J., Jong, T.S., Jeong-Dong, L. 2020. The Prospect of Bentazone-Tolerant Soybean for Conventional Cultivation. Review. – *Agronomy* 10(11): 1650. https://www.researchgate.net/publication/346421635_The_Prospect_of_Bentazone-Tolerant_Soybean_for_Conventional_Cultivation (30.12.2022)
- Messina, M. 2016. The Two Faces of Edible Soy: Vegetable Oil, and Protein. – *Soy Connection, Health & Nutrition News About Soy*, 24 (4). https://www.soyconnection.com/docs/defaultsource/health/professionals/soyconnection_f16_web_3.pdf?sfvrsn=e1c82fa6_0 (01.01.2023)
- Narits, L. 2017. Uus põllukultuur sojauba – ökonomika ja turuperspektiivid. Ettekanne Teraviljafoorumil 21.03.2017. <https://www.youtube.com/watch?v=FFNyp1JXizc&t=10s> (6.12.2022)
- Patel, S., Kokni, R., Dhonde, M.B., Kamble, A.B. 2016. Integrated weed management for improved yield of soybean. – *Indian Journal of Weed Science* 48(1), pp 83–85. https://www.isws.org.in/IJWSn/File/2016_48_Issue-1_83-85.pdf (02.01.2023)
- Raudseping, M. 2007. Sojauba, kasvatamise võimalused Eestis ja kasutamine. Jõgeva, 32 lk.
- Ritchie, H., Roser, M. 2021. Forests and Deforestation. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/soy> (01.01.2023)
- Salzman, F.P., Renner, K.A. 1992. Response of Soybean to Combinations of Clomazone, Metribuzin, Linuron, Alachlor, and Atrazine. – *Weed Technology* 6(4), pp 922–929. <https://www.jstor.org/stable/3988313> (30.12.2022)
- Skrobakova, E. Weed control in soybean stands (*Glycine max.* L.) with reduced doses of herbicides. – *Casopis pre racionalne vyuzivanie agrochemikalii v polnohospodarstve* 7(2), pp 4–7. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SK2003000279> (02.01.2023)
- Soltani, N., Dille, J.A., Burke, I.C., Everman, W.J., VanGessel, M.J., Davis, V.M., Sikkeema, P.H. 2017. Perspectives on potential soybean yield losses from weeds in North America. – *Weed Technology* 31(1), pp 148–154. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201800250841> (01.01.2023)
- Williams, M.M., Randall, L.N. 2014. Vegetable Soybean Tolerance to Bentazon, Fomesafen, Imazamox, Linuron, and Sulfentrazone. – *Weed Technology* 28(4), pp 601–607. https://www.researchgate.net/publication/278398734_Vegetable_Soybean_Tolerance_to_Bentazon_Fomesafen_Imazamox_Linuron_and_Sulfentrazone (30.12.2022)

PESTITSIID SULFOKSAFLOORI MÕJU KARUKIMALASE (*Bombus terrestris*) TÖÖLISTELE, ISASTELE JA EMADELE AKUUTSE KONTAKTMÜRGISTUSE KORRAL

Margret Jürison, Reet Karise, Marika Mänd

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Jürison, M., Karise, R., Mänd, M. 2023. Effects of pesticide sulfoxaflor on worker, queen and male bumble bees (*Bombus terrestris*) in acute contact toxicity. – Agronomy 2023.

*The number and species richness of pollinators have been in a downward trend for years in different regions of the world. The exposure of bees to different pesticides has been proposed as an important contributor to such losses. Considering environmental and health risks many common pesticides are being banned and need to be replaced. Sulfoxaflor is a new insecticide against sap-feeding insects in crops. The aim of this study was to examine the effect of different doses of sulfoxaflor to different castes of eusocial buff-tailed bumble bees (*Bombus terrestris* L.). Bumble bees were exposed to the chemical dissolved in acetone, by direct application to the thorax. Observations lasted for 96h. Mortality was recorded daily and compared with control values. We assessed the dose-responses and acute median lethal dose (LD50) of sulfoxaflor on bumble bee. The results showed that sulfoxaflor has variable impact to different castes of bumble bees. Males were the most susceptible to the pesticide, followed by workers whereas the queens were the most resistant to sulfoxaflor, surviving even at higher doses. This result indicates the need to consider the environmental risks of pesticides at much broader scale than before.*

Keywords: Bumble bees, sulfoxaflor, survival, lethal dose

Sissejuhatus

Tolmeldajate arvukus ja liigirikkus on juba aastaid maailma eri piirkondades langustrendis. Nende vähenemist põhjustab ühelt poolt kliimamuutustega kaasnev patogeenide levik (Sirois-Delisle, Kerr, 2018). Teisalt on aga arvukuse languse üheks sama oluliseks põhjuseks põllumajanduse intensiivistumine, mis on põhjustanud elupaikade ja toitumisalade kadumise ning pestitsiidide sisalduse putukate toidus (Winfree, 2010). Pestitsiidide subletaalsed doosid mõjutavad tolmeldajate immuunsüsteemi ja füsioloogiat, mis omakorda muudab nad mitmesuguste patogeenide suhtes vastuvõtlikumaks (Sponsler jt, 2019). Erinevatest pestitsiidi rühmadest on erilist muret tekitanud neonikotinoidsed insektitsiidid (Goulson, 2013; Woodcock jt, 2017), mis on nüüdseks Euroopa Liidus osaliselt või täielikult keelustatud (Kammoun jt, 2019). Vajadus aga uute alternatiivsete pestitsiidide järgi on viinud uute ühendite väljatöötamisele, millel on kitsam valivus ja väiksem risk keskkonnale (Damalas, Eleftherohorinos, 2011).

Sulfoksaflor on esimene sulfoksimiinil põhinev insektitsiidne toimeaine, mis on efektiivne paljude taimemahlast toituvate putukate, sealhulgas neonikoti-

noidide ja muudegi insektitsiidide suhtes resistentsete putukate vastu (Sparks jt, 2013; Zhu jt, 2011). Kuigi sulfoksaflooril ei ole täheldatud mõju kimalaste õppimisvõimele (Siviter jt, 2019) ja põgenemiskäitumisele (Parkinson jt, 2020), on tuvastatud kahjulikku mõju kimalaste reproduktsioonile (Siviter jt, 2020, 2018) ja meemesilaste suremusele (Cheng jt, 2018).

Pestitsiidide riskihindamisi tehakse peamiselt meemesilastele, eeldades, et kõik mesilaselaadsed putukad on omavahel nii sarnased, et ühtede kohta käivaid tulemusi saab kasutada teistele mesilaslaadsetele mõju hindamiseks või modelleerimiseks (Gradish jt, 2019). Kuna meemesilased erinevad teistest mesilaslaadsetest putukatest oluliselt nii bioloogia, morfoloogia kui ka käitumise poolest, siis võivad need erinevused tähendada ka erinevusi pestitsiidide tundlikkuses ja kokkupuutes (Arena, Sgolastra, 2014; Gradish jt, 2019).

Pestitsiidide letaalseid ja subletaalseid mõjusid mesilastele ja kimalastele on uuritud peamiselt tööliste puhul. Lisaks töölistele kuuluvad perede hulka ka mesilasema ja isased, kes erinevad morfoloogia ja füsioloogia poolest ning neil on üksteist täiendavad käitumismustrid, mis on olulised peretoimimisele (Colgan jt, 2019). Seega võib pere igal indiviidil olla erinev võime tulla toime kokkupuutel erinevate pestitsiididega.

Antud töö eesmärgiks oli uurida insektitsiidi sulfoksafloori kontaktset mõju karukimalase (*Bombus terrestris* L.) pere erinevasse rühma kuuluvate liikmete suremusele.

Materjal ja meetodika

Katses kasutati karukimalase (*B. terrestris*) standardperesid (igas peres > 80 töölikimalast; A.M.Ozoli, Läti) ning eraldi tellitud isaseid ja kimalasemasid (A.M.Ozoli, Läti). Katse meetodika väljatöötamiseks kasutati OECD 2017 juhendit (OECD, 2017). Kimalasi hoiti ja testiti punase valgustusega pimedas ruumis, temperatuuril 26 °C ja ~ 60% suhtelise õhuniiskuse juures. Katses kasutatud kimalased valiti juhuvaliku alusel ning pandi päev enne kemikaaliga töötlemist Nicot puuridesse (mesilasema kasvatuspuurid, Nicotplast, Prantsusmaa). Seejärel kimalased kaaluti ning jaotati katsegruppidesse (töölised 46 tk, isased 40 tk, kimalasemad 30 tk iga katsevariandi kohta). Puurid varustati 2,5 ml süstaldegaga, mis sisaldasid suhkrulahust (50%) ja millele oli kimalastel vaba juurdepääs kogu katse aja vältel.

Katses kasutati insektitsiidi sulfoksafloor (Chem service inc., 99,7% puhas toimeaine). Katses testiti kuut sulfoksafloori seerialahust, mis saadi põhilahuse lahjendamisega (töölised: 0,1; 1; 5; 10; 25; 50 µg/kimalane; isased: 0,1; 1; 5; 10; 16; 25 µg/kimalane; kimalasemad: 1, 5, 20, 50, 100, 200, 400 µg/kimalane). Lisaks sulfoksafloorile sisaldas katse töötlemata kontrolle (vesi ja atsetoon) ning

positiivset kontrolli (dimetoat, Honeywell Fluka, 99,9% puhas toimeaine). Lahuste homogeense jaotumise jaoks lisati kõikidele lahustele, sh kontrollidele, mürgavat ainet (Triton-X-100, 0,1%, Sigma Aldrich).

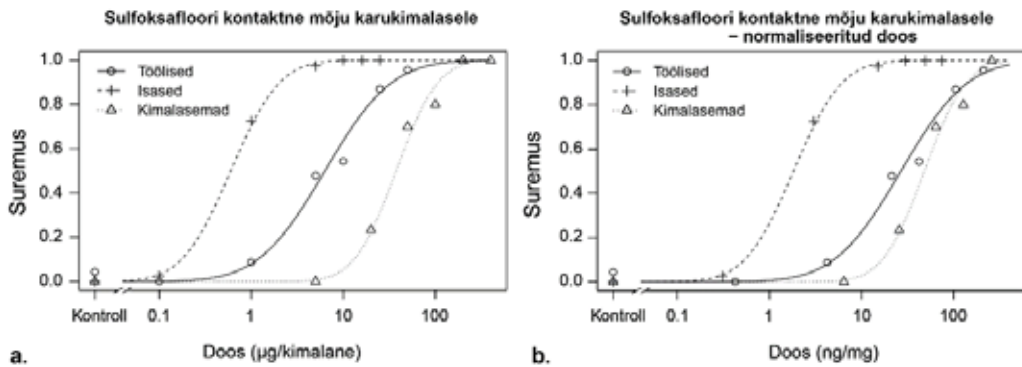
Enne lahustega töötlemist tuimestati kimalased jää, seejärel kanti kimalase rindkere dorsaalsele küljele tilk töötluslahust. Tilga suurust reguleeriti vastavalt kimalase suurusele – töölistele ja isastele kanti 2 µl, kimalasemadele 4 µl. Vaatlus kestis kokku 96 tundi, mille jooksul iga 24 tunni järel loendati surnud kimalased ning tulemuste põhjal koostati suremuse graafikud.

Katseandmete töötlemiseks, analüüsimiseks ja visualiseerimiseks kasutati Microsoft Excelit ja statistika programmi „Rstudio“. Suremuse püsiva ajapunkti tasemeks määrati vaatlusajapunkt, mille suremuse kasv oli madalam kui 10% (töölistel 48 h, isastel 72 h ja kimalasemadel 96 h). Pärast suremuse ajapunktide valimist kohandati doos-vastused logaritmilisele normaalmudelile, mille põhjal hinnati keskmist surtavat annust (LD_{50}) ja selle asümptootilist delta usaldusvahemikku. Analüüsi annuseid nii pestitsiidi tarbimise funktsioonina mesilase kohta (st µg mesilase kohta) kui ka normaliseerides pestitsiidi tarbimist mesilase massi järgi (st ng/mg kehmassi kohta). See võimaldas kindlaks teha, kas kimalase suremus sõltub tema kehmassist.

Tulemused ja arutelu

Tulemused näitasid, et sulfoksafloor mõjub nii karukimalase isastele, töölistele kui ka kimalasemadele erinevalt. Isased olid pestitsiidile kõige vastuvõtlikumad (LD_{50} 72 h 0,6 (95% usalduspiirid 0,399; 0,801) µg/kimalane), töölistel mõnevõrra vähem (LD_{50} 48 h 6,3 (4,672; 7,974) µg/kimalane) (joonis 1a). Emad olid sulfoksafloorile kõige vastupidavamad, jäädes ellu isegi suuremate annuste korral (LD_{50} 96 h 37,5 (28,774; 46,246) µg/kimalane) (joonis 1a). Pärast annuste normaliseerimist kehmassi järgi, olid sellised erinevused kimalaste eri pereliikmete vahel väiksemad, kuid jäid statistiliselt oluliseks (isased LD_{50} 72 h 1,8 (1,214; 2,428) ng/mg; töölistel LD_{50} 24 h 26,7 (19,771; 33,709) ng/mg; kimalasemad LD_{50} 96 h 48,0 (36,866; 59,200) ng/mg) (joonis 1b). See viitab asjaolule, et erinev pestitsiidi tundlikkus ei ole põhjustatud ainult kimalase kehmassist.

Katses ilmnenud isaste suurem tundlikkus sulfoksafloorile võib tuleneda nende füsioloogilisest iseärasusest. Isaste kimalaste ökoloogiline roll on piiritletud teatud kindla ja suhteliselt lühikese ajavahemikuga, mil nende peamiseks ülesandeks on paarituda teistest peredest pärit kimalasemadega (Belsky jt, 2020). Korjel isased isendid ei käi. Lisaks puudub isastel kimalastel võime ennast kaitsta, kuna nõel on asendunud suguelunditega. Seetõttu ei pruugi neil olla välja arenenud sama head kaitsemehhanismid kehavälise saastajate vastu kui töölis-



Joonis 1. Sulfoksafloori erinevate dooside mõju karukimalaste emade, tööliste ja isaste suremusele kontaktse töötlemise korral. a – μg kimalase kohta, b – sama tulemuse ümber arvatult võrdustatuna kehakaalu massiühikule (ng/mg kehamaasi ühiku kohta)

tel või kimalasemadel (Baer, Schmid-Hempel, 2006). Lisaks, põllumajandusliku saastega seoses ohustavad neid pigem kesksuvised taimekaitsevahenditega töötlemised (Belsky jt, 2020). Ohuperioodi hinnates ei tohi unustada, et tegelikult juba varem, alles vastsetena pesas olles, söödetakse kõikidele kimalastele õietolmu, mis on korjatud oluliselt pikema aja vältel ning mis võib nii isaste kui ka emaste kimalaste arengut mõjutada (Gradish jt, 2019). Erinevusi võib olla ka sama grupi isendite vahel. Näiteks on korjel käivatel töölikimalastel nõrgem immuunsüsteem kui nendel, kes korjel ei käi ja korrastavad pesa (Goulson, 2010). See nähtus võib olla seotud kimalaste vanusega – korjetöölised on kõige vanemad isendid pesas.

Kimalasemade vastupidavus pestitsiidile võib seotud olla tema suurusega. Isased ja töölistes on väiksemad kui kimalasemad ja seetõttu võib suremus esineda madalamate pestitsiidi kontsentratsioonide korral (Devillers jt, 2003). Kuna kimalasemad on suuremad kui töölistes ja isased, on neil tõenäoliselt ka paksem kutiikul, mis võib takistada pestitsiidi imendumist läbi nende eksooskeleti. Lisaks on kimalasemadel suuremad rasvkehad, mis võimaldavad neil talve üle elada (Fliszkiewicz, Zdzisław, 2007). Rasvkeha on tugevalt seotud putukate vereringesüsteemiga ja täidab mitmesuguseid metaboolseid funktsioone. Hiljutistes uuringutes on täheldatud, et tsütokroom P450 ensüümidel on oluline roll toksiliste ainete detoksikatsioonis ning ensüümid on võimelised metaboliseerima peaaegu kõiki seni uuritud insektitsiide (Manjon jt, 2018; Raimets jt, 2018). P450 ensüüme leidub kimalastel rasvkehades ja seedetraktis rikkalikult (Zarevcka, 2013). Siit võib tuleneda ka osaline selgitus, miks kimalasemad olid kõige taluvamad sulfoksafloori suhtes.

Kokkuvõte

Käesoleva katse tulemusel selgus, et isased kimalased olid sulfoksafloori akuutse kontaktmürgistuse korral kõige tundlikumad, neile järgnesid töölised. Kimalasemad olid katsetatud aine suhtes kõige vastupidavamad. Sulfoksafloor on uus sulfoksimiinil põhinev insektitsiid. Kirjanduses leidub mitmeid uurimusi, kus sulfoksafloori seostatakse tolmeldajate suremusega. Ka antud katse tulemused kinnitasid, et sulfoksafloor mõjutab karukimalast. Edaspidised uuringud on vajalikud kinnitamaks sulfoksafloori negatiivseid mõjusid tolmeldajatele. Antud katsetulemus viitab ka tõsiasjale, et pestitsiidide keskkonnamõjude analüüsimisel tuleb arvesse võtta senisest oluliselt laiemaid aspekte. Esitatud tulemused on üks osa 2022. aastal ajakirjas Scientific Reports avaldatud artiklist „Intra-specific variation in sensitivity of *Bombus terrestris* and *Osmia bicornis* to three pesticides“ (Linguadoca jt, 2022).

Tänuavaldused

Uurimustööd on toetanud Haridus- ja Teadusministeerium (IUT36-2), Euroopa Regionaalarengu Fond koos Eesti Teadusagentuuriga (ETAg) RITA projekt ning Horizon 2020 Poshbee projekt.

Kasutatud kirjandus

- Arena, M., Sgolastra, F. 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. *Ecotoxicology* 23, 324–334. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1190-1>
- Baer, B., Schmid-Hempel, P. 2006. Phenotypic variation in male and worker encapsulation response in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Ecol Entomol* 31, 591–596. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00825.x>
- Belsky, J.E., Camp, A.A., Lehmann, D.M. 2020. The Importance of Males to Bumble Bee (*Bombus Species*) Nest Development and Colony Viability. *Insects* 11, 506. <https://doi.org/10.3390/insects11080506>
- Cheng, Y., Bu, Y., Tan, L., Wu, W., Li, J., Zhou, J., Shan, Z. 2018. A semi-field study to evaluate effects of sulfoxaflor on honey bee (*Apis mellifera*). *Bull. Insectol* 71, 225–233.
- Colgan, T.J., Fletcher, I.K., Arce, A.N., Gill, R.J., Ramos Rodrigues, A., Stolle, E., Chittka, L., Wurm, Y. 2019. Caste- and pesticide-specific effects of neonicotinoid pesticide exposure on gene expression in bumblebees. *Mol Ecol* 28, 1964–1974. <https://doi.org/10.1111/mec.15047>
- Damalas, C.A., Eleftherohorinos, I.G. 2011. Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *Int J Environ Res Public Health* 8, 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Devillers, J., Decourtye, A., Budzinski, H., Pham-Delègue, M.H., Cluzeau, S., Maurin, G. 2003. Comparative toxicity and hazards of pesticides to *Apis* and non-*Apis* bees.

- A chemometrical study. SAR QSAR Environ Res 14, 389–403. <https://doi.org/10.1080/10629360310001623980>
- Fliszkiewicz, M., Zdzisław, W. 2007. Fatty acids and amino acids in the fat body of bumblebee *Bombus terrestris* (L.) in diapausing and non-diapausing queens. J Apic Sci 55, 55–63.
- Goulson, D. 2010. Bumblebees. Behaviour, Ecology, and Conservation. Oxford University Press, Croydon, London, 317.
- Goulson, D. 2013. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. Journal of Applied Ecology 50, 977–987. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>
- Gradish, A.E., van der Steen, J., Scott-Dupree, C.D., Cabrera, A.R., Cutler, G.C., Goulson, D., Klein, O., Lehmann, D.M., Lückmann, J., O’Neill, B., Raine, N.E., Sharma, B., Thompson, H. 2019. Comparison of Pesticide Exposure in Honey Bees (*Hymenoptera: Apidae*) and Bumble Bees (*Hymenoptera: Apidae*): Implications for Risk Assessments. Environ Entomol 48, 12–21. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy168>
- Kammoun, S., Mulhauser, B., Aebi, A., Mitchell, E.A.D., Glauser, G. 2019. Ultra-trace level determination of neonicotinoids in honey as a tool for assessing environmental contamination. Environmental Pollution 247, 964–972. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.004>
- Linguadoca, A., Jürison, M., Hellström, S., Straw, E.A., Šima, P., Karise, R., Costa, C., Serra, G., Colombo, R., Paxton, R.J., Mänd, M., Brown, M.J.F. 2022. Intra-specific variation in sensitivity of *Bombus terrestris* and *Osmia bicornis* to three pesticides. Sci Rep 12, 17311. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22239-4>
- Manjon, C., Troczka, B.J., Zaworra, M., Beadle, K., Randall, E., Hertlein, G., Singh, K.S., Zimmer, C.T., Homem, R.A., Lueke, B., Reid, R., Kor, L., Kohler, M., Benting, J., Williamson, M.S., Davies, T.G.E., Field, L.M., Bass, C., Nauen, R. 2018. Unravelling the Molecular Determinants of Bee Sensitivity to Neonicotinoid Insecticides. Current Biology 28, 1137–1143.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.02.045>
- OECD. 2017. Test No. 246: Bumblebee, Acute Contact Toxicity Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264284104-en>
- Parkinson, R.H., Zhang, S., Gray, J.R. 2020. Neonicotinoid and sulfoximine pesticides differentially impair insect escape behavior and motion detection. Proceedings of the National Academy of Sciences 117, 5510–5515. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916432117>
- Raimets, R., Karise, R., Mänd, M., Kaart, T., Ponting, S., Song, J., Cresswell, J.E. 2018. Synergistic interactions between a variety of insecticides and an ergosterol biosynthesis inhibitor fungicide in dietary exposures of bumble bees (*Bombus terrestris* L.). Pest Manag Sci 74. <https://doi.org/10.1002/ps.4756>
- Sirois-Delisle, C., Kerr, J.T. 2018. Climate change-driven range losses among bumblebee species are poised to accelerate. Sci Rep 8, 14464. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32665-y>

- Siviter, H., Brown, M.J.F., Leadbeater, E. 2018. Sulfoxaflor exposure reduces bumblebee reproductive success. *Nature* 561. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0430-6>
- Siviter, H., Horner, J., Brown, M.J.F., Leadbeater, E. 2020. Sulfoxaflor exposure reduces egg laying in bumblebees *Bombus terrestris*. *J Appl Ecol* 57, 160–169. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13519>
- Siviter, H., Scott, A., Pasquier, G., Pull, C.D., Brown, M.J.F., Leadbeater, E. 2019. No evidence for negative impacts of acute sulfoxaflor exposure on bee olfactory conditioning or working memory. *PeerJ* 7, e7208. <https://doi.org/10.7717/peerj.7208>
- Sparks, T.C., Watson, G.B., Loso, M.R., Geng, C., Babcock, J.M., Thomas, J.D. 2013. Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: Chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects. *Pestic Biochem Physiol* 107, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.05.014>
- Sponsler, D.B., Grozinger, C.M., Hitaj, C., Rundlöf, M., Botías, C., Code, A., Lonsdorf, E. v., Melathopoulos, A.P., Smith, D.J., Suryanarayanan, S., Thogmartin, W.E., Williams, N.M., Zhang, M., Douglas, M.R. 2019. Pesticides and pollinators: A socio-ecological synthesis. *Science of The Total Environment* 662, 1012–1027. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.016>
- Winfree, R. 2010. The conservation and restoration of wild bees. *Ann N Y Acad Sci* 1195, 169–197. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05449.x>
- Woodcock, B.A., Bullock, J.M., Shore, R.F., Heard, M.S., Pereira, M.G., Redhead, J., Ridding, L., Dean, H., Sleep, D., Henrys, P., Peyton, J., Hulmes, S., Hulmes, L., Sárospataki, M., Saure, C., Edwards, M., Genersch, E., Knäbe, S., Pywell, R.F. 2017. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science (1979)* 356, 1393–1395. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1190>
- Zarevcka, M. 2013. Insecticide Resistance of Bumblebee Species, in: *Biodegradation - Life of Science*. InTech. <https://doi.org/10.5772/56181>
- Zhu, Y., Loso, M.R., Watson, G.B., Sparks, T.C., Rogers, R.B., Huang, J.X., Gerwick, B.C., Babcock, J.M., Kelley, D., Hegde, V.B., Nugent, B.M., Renga, J.M., Denholm, I., Gorman, K., DeBoer, G.J., Hasler, J., Meade, T., Thomas, J.D. 2011. Discovery and Characterization of Sulfoxaflor, a Novel Insecticide Targeting Sap-Feeding Pests. *J Agric Food Chem* 59. <https://doi.org/10.1021/jf102765x>

MITMESUGUST

LAMBA-ARUHEINA SEEMNEKASVATUS

Ants Bender

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Bender, A. 2023. Seed production of sheep fescue. – Agronomy 2023.

A field trial was accomplished at Estonian Crop Research Institute in 2018–2022, in which seed production agro technics of sheep fescue cv. Ave were explored. The effects exerted by drill space (15, 30, 45 cm), seeding rate (5 and 8 kg ha⁻¹) and post-harvest application of nitrogen fertilizer (35 and 70 kg N ha⁻¹) on seed yield and quality were researched. Seeding rate of 5 kg ha⁻¹ and post-harvest application of nitrogen fertilizer equal to N 35 kg ha⁻¹ suffice for sheep fescue. Drill space had a minor effect on the seed yields of sheep fescue harvested throughout four years. The treatments did not affect germination percentage of seeds, yet had some influence on the 1000 seed weight. The latter was more dependent on the year's than on the treatment's effect.

Keywords: sheep fescue, row spacing, seeding rate, nitrogen fertilizer rate, seed yield, seed quality

Sissejuhatus

Seoses kliima arvatava soojenemise ja energia kokkuhoiu vajadusega on kogu maailmas tõusnud tähelepanu keskmesse taimeliigid, mis on vähem nõudlikud kasvukoha mullaviljakuse suhtes, ei nõua suuri kulutusi väetistele, taimekaitsele ega vaja kastmise korraldamist. Haljastuses on perspektiivi sobida niisugustesse kasvutingimustesse peenelehelistel aruheintel. Kuna Eestis on heintaimede sordiaretuses pearõhk seni olnud söödatootmiseks sobivatel liikidel, on see taimegrupp jäänud tähelepanu alt välja. Viimastel aastakümnetel on ka Jõgeval, nõudluse kasvust tingituna ja teiste riikide eeskujul, tegeldud kitsaleheliste aruheina liikide sordiaretusega. 2004-ndast aastast on Eesti Vabariigi riiklikus sordinimekirjas e Sordilehel Jõgeval aretatud puhmikulise punase aruheina sort 'Herbert', 2010. aastast lamba-aruheina sort 'Ave' ja aastast 2018 teine lamba-aruheina sort 'Kihnu'. 2018. a esitati riiklikesse katsetesse kink-aruheina sort 'Ruhnu', mille riiklikku sordinimekirja võtmist on oodata 2023. aastal. Kõik need sordid on omast alamliigist esimesed. Nende seemnekasvatuse üksikasju ei olnud enne sordinimekirja arvamist uuritud. Praeguseks on Jõgeval läbi viidud seeria põldkatseid puhmikulise punase aruheina seemnekasvatuse agrotehnika üksikasjade selgitamiseks ja katsetulemused trükis avaldatud (Bender, Sooväli, 2007; Bender jt, 2008). Aastal 2018 Jõgevale rajatud katsed lamba-aruheina seemnekasvatuse agrotehnika selgitamiseks on teadaolevalt esimesed Eestis. Käesolevas kirjatöös võetakse katseaastate 2018–2022 tulemused kokku.

Katsematerjal ja meetodika

8. mail 2018. a rajati Eesti Taimekasvatuse Instituudis põldkatse eesmärgiga selgitada reavahe laiuse, külvisenormi ja suve II poolel antava lämmastikväetise normi mõju lamba-aruheina seemnesaagile. Katse rajati eelnevalt aasta mustkesana haritud põllule, leostunud mullale (K_0), mille agrookeemilised näitajad olid järgmised: pH_{KCL} 6,5, P 115, K 123, Ca 2663, Mg 142, Cu 2,2, Mn 79, B 0,98 mg kg^{-1} , C_{org} 2,3%. Külvieelse mullaharimise alla külvati 300 kg ha^{-1} kompleksväetist EU Fertilizer NPK 21-6-11+S, hiljem PK väetisi ei lisatud. Saagiaastate kevadel, pärast taimekasvu algust, väetati katselappe ammoniumsalpeetriga, norm N35 kg ha^{-1} . Katses oli lamba-aruheina sort 'Ave', 3 reavahe (15, 30 ja 45 cm), 2 külvisenormi (5 ja 8 kg ha^{-1}) ning 2 suve II poolel antava lämmastikväetise normi varianti (N35 ja 70 kg ha^{-1}). Katselapid külvati (1,5 × 5,0 m) neljas korduses, kasutades külvikuid Hege 80 (reavahe 15 cm) ja Hege 90-1 (reavahed 30 ja 45 cm). Külvi sügavus oli 1–1,5 cm. Põld oli eelnevalt rullitud ja seejärel markeeriga joonitud. Reavahede 30 ja 45 cm puhul rulliti read külvijärgselt täiendavalt käsirulliga üle. Lühiealiste laialeheliste umbrohtude tõrjeks pritsiti katsepõldu üks kord (juulis) preparaadiga MCPA 750, norm 1,5 l ha^{-1} . Pritsimisest ellu jäänud laialehelised umbrohutaimed ja üheaastase nurmika taimed kõrvaldati kõplamisega. Seemnesaagi aastatel tehti kõrsumise alguses valgepähisuse ärahoidmiseks kahjurite tõrje. Kasutati preparaati Decis Mega 150 ml ha^{-1} . Seeme koristati katsekombainiga Hege 140 ühefaasiliselt. Seemnemassi ventileeriti kolm ööpäeva välisõhuga ja kuivatati seejärel dineesenkuivatis. Katselappide seemnekogused sarjati käsisarjaga ja lõpp-puhastati Kamas-Westrupi laboratoorse sorteeriga LALS, saavutamaks 98%-line puhtus. Kolm kuud pärast kombinimist ja puhastamist määrati laboratooriumis seemnetel 1000 seemne mass ja idanevus.

Neljast katseaastast oli rajamisaasta (2018) mai, juuni ja juuli erandlikult sademetevaesed, samas kliimanormist oluliselt kõrgema õhutemperatuuriga (tabel 1). Suve kestel tõusis Jõgeval maksimaalne õhutemperatuur üle 25 °C koguni 47 päeval ja üle 30 °C 12 päeval. Kuu sademete summa moodustas vastava kuu vaatlusaastate keskmisest hulgast mais 34, juunis 33 ja juulis vaid 19%.

Erakordselt kõrge õhutemperatuuri ja väheste sademetega juunis ja juulis paistis silma ka 2021. aasta, mil maksimaalne õhutemperatuur tõusis Jõgeval üle 25 °C 39 päeval ja üle 30 °C 11 päeval. Mulda jäänud lumesulamisvee ja maikuu sademete varal andis lamba-aruhein sel aastal siiski hea seemnesaagi. Ka 2022. aastal oli seemnete täitumise ajal (juunis) pikem periood paljude aastate keskmisest kõrgema õhutemperatuuriga.

2020. katseaasta juuni eristus ülejäänud katseaastatest seemnete täiskasvamise faasis rohkete sademetega. Tugeva tuule ja vihma tõttu taimikud kohati lamanudsid, mis aga ei olnud hiljem takistuseks kombiniga seemnesaagi koristamisel.

Tabel 1. Katseaastate ilmastikutingimused

	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Sept	Okt
Õhutemperatuur, °C							
2018	6,6	14,5	15,0	20,3	17,9	13,6	6,5
2019	6,6	10,6	17,8	15,9	15,7	11,1	6,4
2020	4,2	9,1	17,9	15,7	16,1	13,4	8,4
2021	4,7	10,4	19,0	21,1	15,3	9,7	7,2
2022	3,8	9,7	16,9	17,4	18,9	8,8	7,5
Norm*	5,1	10,9	15,0	17,5	16,0	11,3	5,6
Sademed, mm							
2018	52	17	23	15	76	72	78
2019	4	50	54	34	49	67	87
2020	47	28	136	101	83	74	58
2021	15	88	11	42	105	55	46
2022	34	55	47	50	54	58	51
Norm*	34	45	84	65	89	52	68

* kliimanorm – aastate 1991–2020 keskmine

Katsetulemused ja arutelu

Reavahe laiuse mõju. Meie katses uuriti 15-, 30- ja 45-sentimeetrise reavahe laiuse mõju lamba-aruheina seemnesaagile. Katseandmed näitasid, et vahe seemnesaagis ilmnes vaid esimesel kasutusaastal (tabel 2). Korrektsed katseandmed võimaldavad võrrelda 2019. aasta seemnesaake, mis saadud vaid 30 ja 45 cm-se reavahega lappidelt. Külv 30 cm reavahega andis usutavalt suurema seemnesaagi, kui saadi lappidelt 45 cm reavahega. Hilisematel kasutusaastatel seemnesaagid võrdsustusid. Oletus, et laiema reavahega rajatud seemnepõllu majanduslikult tasuv kasutuskestvus on pikem, ei leidnud kinnitust. Erinevused kolmanda ja neljanda kasutusaasta seemnesaakides seda ei kinnitanud.

Külvikuga Hege 80 külvatud kitsarealine (15 cm) katsevariant jäi rajamisaastal (2018) kestva põua tõttu tühikuliseks, mistõttu peeti õigeaks rajamist korrata freesiga üle kobestatud aladele sama tehnikaga ja sama külvinormiga järgmisel, s.o 2019. aastal. Seekordne rajamine õnnestus väga hästi, mis leidis kinnitust ka 2020. aasta seemnesaakides.

Kuigi tabelis 2 on toodud 15 cm reavahega lappidelt saadud katseandmed, ei ole need otseselt võrreldavad andmetega, mis saadi 30 ja 45 cm-se reavahega, aasta varem rajatud katse variantidelt. Seemnesaaki mõjutasid reavahe laiusest enam erinevused rajamisaasta ja seemnesaagiaasta ilmastikuoludes. Kaasa mõjus nüüd juba ka seemnetaimiku erinev vanus (kasutusaasta). Küll võib nende katse-

andmete põhjal väita, et lamba-aruheina seemnepõlde võib edukalt rajada ka kitsarealiselt.

Meiega sarnasesse olukorda sattusid katse läbiviijad USA-s Minnesota Ülikoolis, kus analoogse katse rajamise aasta (2012) juhtus olema samuti põuane. Sealgi jäi rajamisaastal lamba-aruheina (sort 'Barok') taimik hõredaks. Seda ei küntud seal aga ümber. Esimesel saagiaastal (2013) saadi vaid 7 kg seemet hektarilt, teisel saagiaastal aga juba 761 ja kolmandal 229 kg ha⁻¹ (Herrera jt, 2018). Saagikuse põhjal peetakse seal lamba-aruheina seemnepõldude majanduslikult tasuvaks kasutuskestuseks vaid 2 saagiaastat. Ka meie katses langes pärast teist saagiaastat saagitase, kuid langus ei olnud nii drastiline kui USA-s. Lamba-aruheina seemnepõld saavutas meil maksimaalse saagivõime teisel kasutusaastal. Saagikus ulatus siis 600 kg-ni ha⁻¹. Koristades seemet kolmel saagiaastal (2020–2022), võib meil arvestada keskmiseks saagikuseks 450 kg ha⁻¹. USA-s loetakse lamba-aruheina sortide keskmiseks seemnesaagiks 300 naela aakrilt (340 kg ha⁻¹), vihmutatavatel pindadel aga 700 naela aakrilt (793 kg ha⁻¹) (Plant Guide, 2020).

Viimaste aastakümnetega on USA-s peeneleheliste aruheinte seemnesaak tõusnud rohkem kui 200% (Bonos, Huff, 2013). Edu on saavutatud tänu uusimate uurimistulemuste rakendamisele seemnekasvatuse agrotehnikas ja sordiaretuse edenemises. Meie katses saadud seemnesaagid tõestavad, et töö Jõgeval lamba-aruheina aretusaedades on korda läinud. Kuna artiklis käsitletud katse oli Eestis alles esimene, võib USA eeskujul oletada, et seemnekasvatuse agrotehnika täpsustumise järel on perspektiivi siintoodud seemnesaakidest suuremaidki saada.

Lamba-aruheina seemnepõllud soovitatakse välismaal rajada laiarealiselt reavahega 24 või 36 tolli, so 60 või 90 cm (Plant Guide, 2020). Eestis 90 sentimeetrist reavahet ei ole heintaimede seemnekasvatuses kunagi kasutatud. Reavahe 60 cm oli võsundiliste alusheinte puhul kasutusel ajal, mil keemiline umbrohutõrje oli veel vähe levinud. Umbrohtude kasvu takistati siis reavahede harimisega. Kaasajal rajatakse meil enamik heinaseemne põlde kitsarealiselt (reavahe 12–15 cm) või reavahega kuni 45 cm. Laiem reavahe võib olla eelistatud liikidel, millel intensiivse võrsumisega tiheneb seemnetaimik üle, generatiivvõrseid moodustub siis vähe ja seemnesaak jääb tagasihoidlikuks.

Külvisenormi mõju. Sõltumata reavahe laiusest võrreldi katses külvisenorme 5 kg ha⁻¹ (1132 idanevat seemet m²-le) ja 8 kg ha⁻¹ (1812 idanevat seemet m²-le). Põuasel rajamisaastal ei mõjutanud külvisenormi kahekordseks suurendamine järgmise aasta seemnesaaki. Suurem kasutatud külvisenorm tagas suurema seemnesaagi teisel kasutusaastal ja seda 30 ja 45 cm-se reavahe puhul. Suurema külvisenormi eelis piirdus siiski vaid teise kasutusaastaga. Meie katseandmetele tuginedes piisab lamba-aruheina seemnepõllu rajamisel külvisenormist 5 kg 100%-lise külviväärtusega seemet hektarile.

Tabel 2. Lamba-aruheina seemnesaadid ja 1000 seemne mass

Reavahe cm	Saagiaasta						Keskmine		
	2019	2020	2021	2022	2020–22	2020–22	2020–22	2020–22	
	N35+N35	N35+N35	N35+N70	N35+N35	N35+N70	N35+N35	N35+N70	N35+N35	N35+N70
	Seemnesaak, kg ha⁻¹								
	Külvisenorm rajamisel 5 kg ha ⁻¹								
15	0	406	410	565	482	504	498	492	463
30	249	583	592	439	367	384	388	469	449
45	181	589	605	473	289	401	360	487	418
PD _{0,05}	28	77	55	65	52	65	71	47	41
	Külvisenorm rajamisel 8 kg ha ⁻¹								
15	0	309	444	372	297	600	631	427	457
30	218	612	622	306	218	544	453	487	431
45	194	618	621	313	275	360	332	431	409
PD _{0,05}	24	53	74	66	50	64	86	49	39
	1000 seemne mass, g								
	Külvisenorm rajamisel 5 kg ha ⁻¹								
15	0,390	0,316	0,316	0,293	0,289	0,290	0,286	0,324	0,297
30	0,350	0,317	0,317	0,278	0,285	0,286	0,258	0,305	0,287
45	0,289	0,319	0,319	0,285	0,286	0,289	0,258	0,288	0,288
Keskmine	0,343	0,317	0,317	0,285	0,287	0,288	0,267	0,306	0,291
	Külvisenorm rajamisel 8 kg ha ⁻¹								
15	0,320	0,318	0,318	0,285	0,280	0,271	0,255	0,292	0,284
30	0,308	0,328	0,328	0,278	0,287	0,293	0,286	0,293	0,300
45	0,322	0,309	0,309	0,265	0,276	0,279	0,287	0,289	0,291
Keskmine	0,317	0,318	0,318	0,276	0,281	0,281	0,276	0,291	0,292

Suve teise poole lämmastikväetise normi mõju. Lamba-aruhein on talvetüüpi kõrreline, millel generatiivvõrsed arenevad vaid eelmisel sügisel arenenud ja talve jooksul vernaliseerumisprotsessi läbinud lühivõrsetest. Seemnesaagi määravad seega suve II poole võrsumisaegne ilmastik (peamiselt sademed) ja taimede toitumisolud. Esimest me ei saanud mõjutada, küll aga oli võimalik väetamisega võrsumist ergutada. Katses kontrolliti suve II poolel lämmastiku foone N35 ja N70 kg ha⁻¹. Seemnesaagi koristamise järel kontsheinale antava lämmastikunormi suurendamine ei kindlustanud lamba-aruheinal järgmisel aastal seemnesaagi tõusu (tabel 2).

Lisaks põhiväetistele on lamba-aruheina seemnepõldu otstarbekas väetada kevadel lämmastikväetise normiga N35 kg ha⁻¹, ja suvel, pärast seemnesaagi koristamist, normiga N35 kg ha⁻¹. Soovitatud kevadisest normist suurem lämmastikukogus võib meie oludes soodustada seemnetaimiku lamandumist. Ameerika Ühendriikides Oregoni osariigis väetatakse kõikide peeneleheliste aruheinte seemnepõlde kevadel normiga N56 kg ha⁻¹ (Gingrich jt, 2003). Oregonis on juuni ja juuli paljude aastate keskmisena sademetevaesed ja lamandumisoht väiksem. USA Minnesota osariigis peetakse õigeaks peeneleheliste aruheinte seemnepõlde kevadel väetada normiga N40–45 kg ha⁻¹ (Herrera, 2019).

Seemnete kvaliteet

Seemne lõpp-puhastusel Kamas-Westrup firma laboratoorse sorteeriga LALS õigustas lamba-aruheina seemnete puhul sõelte komplekt: eelpuhastuseks ümar-auk sõel \varnothing 3,0 mm, ülemine, pikliku avaga sõel 0,8 mm ja alumine, pikliku avaga sõel 0,45 mm. Masin oli varustatud tõusva tuulega, mida reguleeriti visuaalse vaatluse põhjal. Masin tagas seemne puhtuse 98%. Katsevariantide mõju seemnete idanevusele ei täheldatud, mistõttu detailseid idanevuse andmeid artiklis ei esitata. Seemnete idanevus oli 80–82% 2020. aastal, 2021. aastal 75–78% ja 2022. aastal vahemikus 84–89%. 2021. aastal arenes ja valmis lamba-aruheina seeme juuni-juulikuise põua (paljude aastate keskmisest kõrgema õhutemperatuuri) tingimustes, mis mõjutas sel aastal nii seemnete idanevust kui 1000 seemne massi (tabel 2). Mõlemad näidud olid sel aastal teiste katseaastate näitudest madalamad.

Seemnesaagi aasta mõjutas 1000 seemne massi enam kui uuritavad katsevariandid (tabel 2).

Ilmnes tendents, kus noorel, hõredamal seemnetaimikul arenenud saagis oli 1000 seemne mass suurem, seemnetaimiku vananedes (tihenedes) 1000 seemne mass vähenes. Üldjuhul leidis kinnitust ka teistelt liikidelt juba varem teada fakt, kus suurema seemnesaagiga kaasneb 1000 seemne massi langus (Bender, 2021; 2022).

Kokkuvõte ja soovitused tootmisele

Lamba-aruhein on aeglase algarenguga liik, mille seemnepõld tuleks rajada kevadel esimesel võimalusel. Põllu võib rajada nii kitsa kui laia (kuni 45 cm) reavahega. Piisab külvisenormist 5 kg 100%-lise külviväärtusega seemnest hektarile. Külvi sügavus 1–1,5 cm. Kuni taimed alustavad võrsumist, tuleks umbrohtude tõrjumiseks ja valgustingimuste parandamiseks teha 2 madalat üleniitmist, edasi saab laialehelisi umbrohte tõrjuda herbitsiididega. PK väetised võiks anda mullaharimise eel enne külvi, lämmastikku anda rajamisaastal normiga N70 kg ha⁻¹ – seda kahes osas: N35 kg külvi eel, teist korda N35 pärast keemilist umbrohutõrjet. Seemnesaagiaastal väetada nädal pärast taimekasvu algust normiga N35 kg ja suvel pärast seemnesaagi koristamist normiga N35 kg ha⁻¹. Kõrsumise algul tuleb teha valgepähisuse vältimiseks kahjuritõrje. Lamba-aruheina seemnesaak valmib juuli I dekaadis, enamikust kõrrelistest heintaimedest varem. Seemnesaak on 400 kuni 600 kg ha⁻¹. Seemnepõllu majanduslikult tasuv kasutuskestus on 3 aastat.

Eraldi põldkatsetes vajab edasist uurimist üheaastase ja hariliku nurmika tõrje küsimus, mis selle liigi seemnekasvatuses on probleemiks. Lahenduseks annavad lootust mujal tehtud uurimistööd, milles on selgunud lamba- ja kinkaruheina tolerantsus glüfosaati sisaldavate herbitsiidide suhtes (Hart jt, 2005; Mc Cullough jt, 2015; Askew jt, 2019). Käesoleva kirjatöö autor on samas teadlik Eestis glüfosaati sisaldavate herbitsiidide keelustamise võimalusest tulevikus.

Kasutatud kirjandus

- Askew, S.D., Askew, W.B., Goatley, J.M. 2019. Fineleaf fescue species and variety tolerance to glyphosate. – *Weed Technology* 33, pp 185–191.
- Bender, A. 2021. Kasvuregulaatori ja kevadise täiendava lämmastikväetise mõju põldtimuti (*Phleum pratense* L.) seemnesaagile ja seemnete kvaliteedile. – *Agraarteadus* nr 1, lk 17–24.
- Bender, A. 2022. Kõdraliimi Laminex kasutamisest päideroo (*Phalaris arundinacea* L.) seemnete varisemise vähendamiseks. – *Agronomia* 2022, lk 52–59.
- Bender, A., Aavola, R., Sooväli, P. 2008. Kokkuvõte tihedapuhmikulise punase aruheina (*Festuca rubra* ssp. *commutata*) sordi 'Herbert' seemnekasvatuse agrotehnika katsetest. – *Agraarteadus* nr 1, lk 3–12.
- Bender, A., Sooväli, P. 2007. Tihedapuhmikulise punase aruheina seemnesaak ja haigestumine erineva agrotehnika korral. – *Agronomia* 2007, lk 67–70.
- Bonos, S.A., Huff, D.R. 2013. Cool-season grasses: biology and breeding. – In *Agronomy Monograph* 56. Turfgrass: biology, use and management (eds: Stier, J.C., Horgan, B.P., Bonos, S.A.). – Madisson, Wisconsin, pp 591–660.

- Gingrich, G.A., Hort, J.M., Horneck, D.A., Young, W.C., Silberstein, T.B. 2003. Fine fescue seed: Westwrn Oregon fertilizer guide. Oregon State University Extension Service FG 6-E. (23.11.2022) – <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/fg6.pdf>
- Hart, S.E., Derr, J.F., Lycan, D.W., Rose-Fricer, C., Meyer, W.A. 2005. Increased glyphosate tolerance in Aurora Cold hard fescue (*Festuca longifolia*). – *Weed Technology* 19, pp 640–646.
- Herrera, D.R., Ehlke, N., Watkins, E., Heineck, G. 2018. Seed production of fine fescue turfgrasses in Minnesota. – <https://lowinputturf.umk.edu/sites/lowinputturf.umn.edu/files/files/media/herrera.pdf> (23.11.2022)
- Herrera, D.R. 2019. Can fine fescue seed be produced in Minnesota? – <https://turf.umn.edu/news/can-fine-fescue-seed-be-produced-minnesota> (23.11.2022)
- Mc Cullough, P.E., Yu, J., Schilling, D.G., Czarnota, M.A. 2015. Physiological basis for glyphosate tolerance in hard fescue and perennial ryegrass cultivars. – *Crop Science* 55, pp.2352–2358.
- Plant Guide 2020. United States Department of Agriculturae. – https://nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/wapmcp12477.pdf

ROHUSÖÖDA TOITEVÄÄRTUSE MUUTUSED SEGUDES KARJAMAA-RAIHEINA MÕJUL

Heli Meripõld, Uno Tamm, Silvi Tamm, Sirje Tamm, Taavi Võsa, Priit Pechter

Maaelu Teadmuskeskus

Abstract. Meripõld, H., Tamm, U., Tamm, S., Tamm, S., Võsa, T., Pechter, P. 2023. Changes in the nutritional value of grass mixtures under the influence of perennial ryegrass. – Agronomy 2023.

Alaska brome cultivar (cv.) Hakari and smooth brome (cv.) Lehis were grown in pure stand and in the combination with perennial ryegrass (cv.) Raite, lucerne (cv.) Karlu and red clover (cv.) Varte. The field trial was conducted during the years of 2017–2020 with or without fertilisation. With fertilisation, Alaska brome and smooth brome plots were cut three times in the summer and received a total of 200 kg ha⁻¹ N (80-60-60 kg ha⁻¹ after each cut) plus autumn fertiliser (7-20-28) of 300 kg ha⁻¹ (N₂₁P₆₀K₈₄). The average dry matter (DM) yield in perennial ryegrass mixture with red clover was 3.6 Mg ha⁻¹ for smooth brome and 4.4 Mg ha⁻¹ for Alaska brome. In the mixture with lucerne, the corresponding DM yields were 9.2 and 7.9 Mg ha⁻¹. The highest nutritive value of forage was obtained when growing grasses in the organic mixture with perennial ryegrass and red clover (digestible dry matter (DDM) 645–706 g kg⁻¹ DM, metabolisable energy (ME) 9.6–10.5 MJ kg⁻¹ DM). The nitrogen used in the fertilised plots increased the DMY and protein content of the forage. All mixtures with perennial ryegrass improved nutritional value, with Alaska brome having a better nutritional value than smooth brome. The smooth brome mixture was less digestible due to the higher fibre content.

Keywords: Alaska brome, smooth brome, perennial ryegrass, lucerne, red clover, nutritive value

Sissejuhatus

Täisväertuslik rohusööt veise söödaratsioonis peab olema hea söömuse, kõrge seeduvuse ja mõõduka proteiinisaldusega. Kõrreliste-liblikõieliste segukülvide rajamisel on oluline optimaalne heintaimede liikide valik, et saada kõrge saagikus ja bioloogilise lämmastiku efektiivne kasutus (Elgersma, Søegaard, 2015). Liblikõieliste valimisel kõrreliste-liblikõieliste segudesse tuleb arvestada liigi fenoloogilise arengu kiirust, püsivust ja toiteväärtust.

Toiteväärtus on kõrgeim siis, kui esimene niide võetakse kõrreliste heintaimede kõrsumise-loomise arengujärgus ja liblikõielistel õiepungade moodustumise või õitsemise alguses. Varasemad uuringud on näidanud, et punase ristiku (*Trifolium pratense* L.) ja lutserni (*Medicago sativa* Lam.) kasvatamine segukülvides kõrrelistega parandab toiteväärtust, seeduvust ja söömust. Segukülvidega pikendame samuti rohusööda optimaalset koristusaega (Tamm, 2017). Kiirekasvulistest, suure saagivõimega ja talvekindlatest kõrrelistest on kasvatajate tähelepanu pälvinud karjamaa-raihein (*Lolium perenne* L.), ohtetu luste (*Bromus inermis* Leysser) ja alaska luste (*Bromus sitchensis* Trin). Viimane neist on Eestis suhteliselt uus ja väheuuritud liik (Tamm jt, 2018).

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli võrrelda karjamaa-raiheina – kõrge toiteväärtusega heintaimede liigi – mõju erinevate luste liikide ja liblikõieliste segukülvide saagile ja toiteväärtusele.

Materjal ja meetodika

Uuringud viidi läbi aastatel 2018–2020. Katse rajati Sakus tüüpilisele kamar-karbonaatsele rähksele mullale *split-plot* asetuses neljas korduses. Mulla agrookeemilised näitajad olid järgmised: pH_{KCl} 7,4 (ISO 10390), mulla orgaanilise süsiniku sisaldus 3,0% (Tyurin meetod) ning liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldus vastavalt 53 ja 97 mg kg⁻¹ (Mehlich III meetod). Külvisenorm oli alaska luste sordil ‘Hakari’ ja ohtetu luste sordil ‘Lehis’ 20 kg ha⁻¹, karjamaa-raiheina sordil ‘Raite’ 6 kg ha⁻¹, lutserni sordil ‘Karlu’ 12 kg ha⁻¹ ja punase ristiku sordil ‘Varte’ 10 kg ha⁻¹. Katses võrreldi kümme erinevat segukülvi ja alaska luste ning ohtetu luste puhaskülvi (tabel 1). Puhaskülve väetati normiga N200 kg ha⁻¹ kolmes osas: kevadel kasvu algul 80 ning esimese ja teise niite järel 60 kg ha⁻¹, lisaks anti sügisväetist (N₇-P₂₀-K₂₈) kogu katsealale normiga 300 kg ha⁻¹. Taimikuid niideti suve jooksul kolm korda. Esimene niide tehti mai lõpul–juuni algul, teine juuli keskel ja kolmas septembri algul. Katsed niideti motoblokiga MF 70, rohusaak kaaluti ja võeti proovid laboratoorseteks analüüsideks ning botaanilise koosseisu määramiseks. Rohuproovid analüüsiti Van Soesti skeemi järgi Põllumajandus-uuringute Keskuse söötade ja teravilja laboris. Katses määrati järgmised andmed: kuivainesmaak (KA), toorproteiin (TP), neutraalkiud (NDF), happekiud (ADF), kuivaine seeduvus (DDM), metaboliseeruv energia (ME) ja metaboliseeruv proteiin (MP). Rohusööda metaboliseeruv proteiin arvutati rohu keemilise koostise analüüsitulemuste ja avaldatud koefitsientide alusel (EPMÜ, 2004; Tuori jt, 1998).

Efektiivseid temperatuure (üle +5 °C) kogunes kasvuperioodil (aprill–september) 2018. aastal 1729 °C, 2019. aastal 1459 °C ja 2020. aastal 1394 °C. Sademeid oli kasvuperioodil 2018. aastal 266 mm, 2019. aastal 351 mm ja 2020. aastal 459 mm. Katseandmed töödeldi statistiliselt dispersioonanalüüsi meetodil 95% usalduspiiri juures, kasutades programmi AGROBASE 20™ (Fisher LSD test).

Tulemused ja arutelu

Liblikõieliste ja karjamaa-raiheina kasv ning areng on kevadel nende soojalembuse tõttu aeglasem. Esimene niide tehti 28. mail 2018., 31. mail 2019. (efektiivseid temperatuure kogunes selleks ajaks vastavalt 349 ja 311 °C) ja 2. juunil 2020. aastal (efektiivsete temperatuuride summa vastavalt 147 °C), viimane oli lähiaastate kõige jahedam kevad.

Kolme aasta keskmisena saadi suuremad kuivainesaadid ohtetu luste ja alaska luste puhaskülvidelt N200 väetist kasutades, vastavalt 11,0 ja 10,1 t ha⁻¹. Katse kõige suuremad kuivainesaadid saadi nii alaska luste kui ka ohtetu luste puhaskülvidelt kolmandal katseaastal N200 foonil, vastavalt 17,1 ja 17 t ha⁻¹. Erinevate luste liikide puhaskülvidele karjamaa-raiheina lisamisega kuivainesaak vähenes oluliselt (tabel 1). Ohtetule lustele on iseloomulik väga hea põuataluvus, kuid tema läbilöövus segudes ei ole esimestel kasvuaastatel tugev (Annuk, Sau, 1971). Alaska luste on halvema põuataluvusega kui ohtetu luste, kuid ta on hea konkurentsivõimega kaasliik nii liblikõieliste kui ka kõrreliste segukülvides (Olderseeds). Karjamaa-raihein on tugeva konkurentsivõimega liik, mis segukülvides võib takistada nii lustete kui ka liblikõieliste levikut ja kasvu (Loide jt 2021). Ka vähendasid 2018. ja 2019. aasta suvised kõrged õhutemperatuurid ja pöud segukülvide ädalasaake.

Alaska luste / punase ristiku / karjamaa-raiheina segukülvi kolme katseaasta keskmine kuivainesaak oli mõnevõrra suurem kui ohtetu luste / punase ristiku / karjamaa-raiheinal (vastavalt 4,4 ja 3,6 t ha⁻¹). Sama tendents oli ka lutserni segukülvide korral. Karjamaa-raiheina lisamine vähendas usutavalt segukülvide kuivainesaake (tabel 1).

Tabel 1. Erinevate luste liikide ja nende segukülvide KA saagid 2018–2020, t ha⁻¹

Liik / segu	Variant	2018	2019	2020	Keskm
Alaska luste	N200	6,1 ^{b/C}	7,2 ^{a/B}	17,1 ^{a/A}	10,1 ^a
Alaska luste / karjamaa-raihein	N200	6,7 ^{a/B}	5,8 ^{b/C}	13,7 ^{b/A}	8,7 ^b
Alaska luste / lutsern	N0	4,3 ^{a/C}	6,8 ^{a/B}	12,8 ^{a/A}	7,9 ^a
Alaska luste / lutsern / karjamaa-raihein	N0	3,9 ^{b/B}	2,5 ^{b/C}	8,0 ^{b/A}	4,8 ^b
Alaska luste / punane ristik	N0	4,9 ^{a/C}	6,3 ^{a/B}	7,7 ^{a/A}	6,3 ^a
Alaska luste / punane ristik / karjamaa-raihein	N0	4,2 ^{b/B}	2,7 ^{b/C}	6,3 ^{b/A}	4,4 ^b
Ohtetu luste	N200	6,5 ^{a/C}	9,5 ^{a/B}	17,0 ^{a/A}	11,0 ^a
Ohtetu luste / karjamaa-raihein	N200	6,3 ^{a/B}	6,6 ^{b/B}	15,6 ^{b/A}	9,5 ^b
Ohtetu luste / lutsern	N0	3,9 ^{a/C}	7,7 ^{a/B}	16,1 ^{a/A}	9,2 ^a
Ohtetu luste / lutsern / karjamaa-raihein	N0	3,3 ^{a/B}	2,6 ^{b/B}	8,5 ^{b/A}	4,8 ^b
Ohtetu luste / punane ristik	N0	3,9 ^{a/C}	5,9 ^{a/B}	8,1 ^{a/A}	5,9 ^a
Ohtetu luste / punane ristik / karjamaa-raihein	N0	3,3 ^{b/B}	2,3 ^{b/C}	5,2 ^{b/A}	3,6 ^b

Erinevad väikesed tähed (a,b,c) tulbas ja joonte vahel näitavad olulisi erinevusi, mis on tingitud karjamaa-raiheina segusse lisamisest ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test); erinevad suured tähed (A, B, C) näitavad olulisi erinevusi aastate vahel liigi/segu sees

Rohusaagi botaaniline koostis katseaastate keskmisena oli suhteliselt sarnane: alaska luste / lutserni ning alaska luste / punase ristiku / karjamaa-raiheina segukülvides oli kõrrelisi 72% (sh karjamaa-raiheina 42%), lutserni 21% ja punast ristikut 24%. Ohtetu luste / punase ristiku ja ohtetu luste / lutserni / kar-

jamaa-raiheina segukülvides oli kõrrelisi 75% (sh karjamaa-raiheina 43%), lutserni 27% ja punast ristikut 27%. Ohtetu luste konkurentsivõime segukülvides oli väiksem (botaanilises koostises 26%) kui alaska lustel (botaanilises koostises 32%).

Kõrreliste mõõdukas esinemine liblikõieliste segukülvides suurendab saagi kuivaine- ja kiusisaldust, vähendab aga proteiinisaldust, kuid muudab seejuures proteiinibilansi mäletsejaliste vatsas soodsamaks (Tamm, 2005).

Kolme katseaasta keskmisena suurendas karjamaa-raiheina lisamine usutavalt esimeses niites toorproteiinisaldust (TP) ainult ohtetu luste saagis N200 foonil. Alaska luste segukülvis karjamaa-raiheinaga jäi suurenemine katseva piiridesse (tabel 2). Teises niites alaska ja ohtetule lustele lisatud karjamaa-raihein vähendas TP samal väetusfoonil. Nii esimeses kui ka teises niites alaska ja ohtetu luste liblikõieliste segukülvidele lisatud karjamaa-raihein ei suurendanud TP. Alaska ja ohtetu luste segudes lutserniga oli mõlemas niites TP (158–188 g kg⁻¹ KA) kõrgem kui samade kõrreliste liikide segudes punase ristikuga (135–144 g kg⁻¹ KA).

Lutsernil hinnatakse tema kõrget TP sisaldust. Lutserni proteiini puuduseks on kiire lõhustumine vatsas (rohus 80%), kuna lutserni proteiinis on mittevalguliste lämmastikühendite osakaal suur (Kärt jt, 2002). Proteiini kiire lõhustuvuse korral jääb vatsas mikroorganismide poolt osa lõhustussaadusi kasutamata, mis väljutatakse uriiniga. Mäletseja vatsas potentsiaalselt moodustuva mikroobse proteiini ja vatsast mööduva proteiini seedumisel peensooles vabanenud ja verre imendunud aminohapete summa on metaboliseeruv proteiin (MP). MP kasutatakse mäletsejate söödaratsioonides ning söötade keemilise koostise ja toiteväärtuse tabelites proteiini hindamiseks. MP arutati 2019. ja 2020. aasta katseandmete põhjal. Katseaastate esimese niite keskmine MP oli alaska ja ohtetu luste puhaskülvides vastavalt 82 ja 76 g kg⁻¹ KA ning alaska luste ja ohtetu luste karjamaa-raiheinaga variantides vastavalt 87 ja 88 g kg⁻¹ KA (N200). Seega karjamaa-raihein suurendas MP alaska luste puhul 6% ja ohtetu luste korral 15% võrra ($r = 0,90$, $p < 0,05$). Samade variantide teises niites suurendas karjamaa-raihein MP alaska luste puhul 12% ja ohtetu luste korral 13% võrra ($r = 0,88$, $p < 0,05$).

Luste liikide, lutserni ja karjamaa-raiheina segukülvide rohusööda MP sisalduste vahel statistiline erinevus puudus.

Esimeses niites oli erinevate lustete ja punase ristiku segukülvi rohusööda MP 91 g kg⁻¹ KA-s ja sellele segukülvile karjamaa-raiheina lisamine suurendas MP 98 g kg⁻¹ KA (7%, $r = 0,88$, $p < 0,05$), teises niites oli segukülvide vahel erinevus marginaalne.

Lisaks heintaimede liikidele mõjutavad paremat rohusööda toiteväärtust ka sordid. Sordiaretusega on loodud suur valik erineva arengukiirusega sorte. Katses segukülvides kasutatud sort 'Raite' on hilisema kevadise arenguga kui alaska ja ohtetu luste. Kui katses alaska ja ohtetu luste puhaskülvis NDF vää-

Tabel 2. Erinevate luste liikide ja nende segukülvide esimese ja teise niite toiteväärtus aastatel 2018–2020

Liik /segu	Variant	TP, g kg ⁻¹	NDF, g kg ⁻¹	DDM, g kg ⁻¹	ME, MJ kg ⁻¹
I niide					
Alaska luste	N200	142 ^a	620 ^a	635 ^a	9,3 ^b
Alaska luste / karjamaa-raihein	N200	146 ^a	481 ^b	680 ^b	10,0 ^a
Alaska luste / lutsern	N0	158 ^a	477 ^a	671 ^b	10,0 ^a
Alaska luste / lutsern / karjamaa-raihein	N0	154 ^a	408 ^b	703 ^a	10,5 ^a
Alaska luste / punane ristik	N0	140 ^a	505 ^a	666 ^b	10,0 ^b
Alaska luste / punane ristik / karjamaa-raihein	N0	155 ^a	420 ^a	706 ^a	10,5 ^a
Ohtetu luste	N200	145 ^b	641 ^a	618 ^b	9,1 ^b
Ohtetu luste / karjamaa-raihein	N200	162 ^a	472 ^b	687 ^a	10,0 ^a
Ohtetu luste / lutsern	N0	164 ^a	475 ^a	666 ^a	10,0 ^a
Ohtetu luste / lutsern / karjamaa-raihein	N0	138 ^b	449 ^a	689 ^a	10,3 ^a
Ohtetu luste / punane ristik	N0	135 ^a	506 ^a	659 ^b	9,8 ^b
Ohtetu luste / punane ristik / karjamaa-raihein	N0	136 ^a	415 ^b	706 ^a	10,5 ^a
II niide					
Alaska luste	N200	144 ^a	673 ^a	599 ^a	9,0 ^b
Alaska luste / karjamaa-raihein	N200	146 ^a	546 ^b	658 ^a	9,8 ^a
Alaska luste / lutsern	N0	178 ^a	489 ^a	643 ^b	9,5 ^a
Alaska luste / lutsern / karjamaa-raihein	N0	138 ^b	508 ^a	648 ^a	9,7 ^a
Alaska luste / punane ristik	N0	142 ^a	513 ^a	637 ^a	9,4 ^a
Alaska luste / punane ristik / karjamaa-raihein	N0	118 ^b	514 ^a	639 ^a	9,6 ^a
Ohtetu luste	N200	163 ^a	662 ^a	609 ^b	9,2 ^a
Ohtetu luste / karjamaa-raihein	N200	146 ^b	568 ^b	649 ^a	9,6 ^a
Ohtetu luste / lutsern	N0	188 ^a	477 ^a	649 ^a	9,5 ^a
Ohtetu luste / lutsern / karjamaa-raihein	N0	175 ^a	483 ^a	656 ^a	9,7 ^a
Ohtetu luste / punane ristik	N0	144 ^a	499 ^a	645 ^a	9,5 ^a
Ohtetu luste / punane ristik / karjamaa-raihein	N0	123 ^a	499 ^a	645 ^a	9,6 ^a

Erinevad väikesed tähed (a,b,c) tulbas ja joonte vahel näitavad olulisi erinevusi, mis on tingitud karjamaa-raihein segusse lisamisest ($p < 0,05$; ANOVA, Fisher LSD test)

TP – toorproteiin, NDF – neutraalkiud, DDM – kuivaine seeduvus, ME – metaboliseeruv energia

tus ei vastanud hea rohusööda kriteeriumitele (optimaalne koristusae möödas), siis karjamaa-raihein lisamisel nii puhaskülvidele kui ka lusted ja liblikõieliste segukülvidele, esines tendents rohusööda NDF vähenemisele e muutus hea toiteväärtuse suunas.

Karjamaa-raihein suurendas kõigis kõrreliste-liblikõieliste segudes rohusööda seeduvust (DDM 689–706 g kg⁻¹ KA) ja metaboliseeruva energia väärtust (10,31–10,5 ME MJ KA).

Kokkuvõte

Erinevate luste liikide, lutserni ja punase ristiku segukülvidesse karjamaa-raiheina lisamine vähendas usutavalt segukülvide kuivainesaake. Suvised kõrged õhutemperatuurid ja põud vähendasid kõrreliste-liblikõieliste segukülvide ädala-saake.

Karjamaa-raiheina mõjul suurenes erinevate luste liikide ja liblikõieliste segukülvide rohusööda seeduvus ja metaboliseeruv energia. Karjamaa-raihein suurendas alaska ja ohtetu luste rohusööda metaboliseeruvat proteiini, seeduvust ja energeetilist väärtust võrreldes erinevate luste liikide puhaskülviga.

Karjamaa-raiheina lisamine segukülvidesse meie poolt läbiviidud katses parandas rohusööda toiteväärtust, kuid ei suurendanud kuivainesaaki.

Tänuavaldused

Uurimistöö viidi läbi Eesti Maaeluministeeriumi rakendusuringu RUP 025 finantseerimisel. Autorid tänavad Põllumajandusuuringute Keskuse teravilja ja söötade laboratooriumi kollektiivi abi eest analüüside tegemisel.

Kasutatud kirjandus

- Annuk, K., Sau, A. 1971. Heintaimede määraja ja rohumaaviljeluse praktikum, 238 lk.
- Elgersma, A., Søegaard, K. 2015. Productivity and herbage quality in two-species grass-legume mixtures under cutting. *Grassland Science in Europe*, Wageningen, Netherlands, Vol. 20, p. 401–403.
- EPMÜ Loomakasvatusinstituut. 2004. Söötade keemilise koostise ja toiteväärtuse tabelid, 122 lk.
- Kärt, O., Karis, V., Ots, M. 2002. Mäletsejaliste proteiintoitumine ja metaboliseeruv proteiinil põhinev söötade hindamise süsteem. Eesti Põllumajandusülikool Loomakasvatusinstituut, 40 lk.
- Loide, V., Tamm, U., Meripõld, H., Edesi, L. 2021. Mahepõllumajanduses soovitatavad proteiini- ja energiarikkad kultuurid ja karjamaasegud. <https://etki.ee/wp-content/uploads/2021/05/Mahe-karjamaa.pdf> 12.02.2023
- Olderseeds. <https://www.olderseeds.ee/sordid/plant/alaska-lust-hakari> 11.01.2023
- Tamm, U. 2005. Rohusööda toiteväärtus, 89 lk.
- Tamm, U. 2017. Parema toiteväärtusega rohusööt. <http://taim.etki.ee/taim/public/pdf/Trukised/Parema-toitevrtusega-rohust-Tamm.pdf>
- Tamm, U., Meripõld, H., Tamm, S., Edesi, L. 2018. The nutritive value of Alaska brome and tall fescue forage using different growing technologies. *Grassland Science in Europe* 23, pp 363–365.
- Tuori, M., Kaustell, K. V., Huhtanen, P. 1998. Comparison of the protein evaluation system of feeds for dairy cows. *Livestock production science* 55, 1, pp 33–46.

ÕUNAPUUDE VEGETATIIVNE KASV JA VILJAKANDVUS NOORES RENOVEERITUD ISTANDIKUS

Toivo Univer

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Abstract. Univer, T. 2023. Vegetative growth and fruit bearing of apple trees in a renovated orchard. – Agronomy 2023.

When apple trees are grown in the same location for an extended time, the soil can become fatigued due to a combination of physical, chemical and biological factors. An old apple orchard was liquidated in 2011. The stumps were ground and cereal, honey clover and garden lupin were sown as catch crops on the area. A new orchard was planted four years later, in 2015. The cultivars used were Antei, Auksis, Lobo, Tiina and Vahur grafted on a dwarfing rootstock B9. The aim of this trial was to find out how the products of the decay of roots and the root system and the wood pulp from the ground stumps affect the vegetative growth and the crop of the young trees. It was found that the height of the young trees and their trunk diameter increased faster when the stumps of the old trees were ground and green manure crops were grown for four years before replanting the orchard. The combination of the cultivar and the rootstock had a greater impact on the formation of flower buds and inflorescences and the formation of fruit. The start of fruit bearing and the yield of young trees depended on the cultivar.

Keywords: *apple tree, replanted apple orchard, apple replant disorder*

Sissejuhatus

Mullaväsimus on maaviljeluses tuntud nähtus, mis avaldub taime kasvu pidurdumises, mida täheldatakse nii ühe- kui mitmeaastastel kultuuridel. Mullaväsimust põhjustab negatiivsete füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste mullategurite pikaajaline mõju, taimedele toksiliste ainete pikaldane kogunemine mulda. Möödunud sajandi teisel poolele uurisid Eesti taimefüsioloogid Heigo Miidla (1965, 1970), Udo Margna (1963, 1980) ja Lembit Sarapuu (1971) erinevate biokeemiliste protsesside olemust ja kulgu viljapuudel, sh ka taimedes tekivate fenoolsete ühendite võimalust mullaväsimuse tekkel. Mullaväsimust on üldisemas plaanis käsitletud Udo Järvan (1989) ja kirjanduse ülevaatenähtuna Maria Abakumova ja Toivo Univer (2020).

Maaviljeluses tekkida võiva mullaväsimuse vältimiseks on võetud kasutusele mitmeväljaline külvikord, kus teraviljad vahelduvad õli- ja rühvelkultuuride ning heintaimedega. Puuviljanduses, kus sama kultuuri istandikud on pikaajalised (8–50 aastat), on mullaväsimuse teke paratamatu. Kui koostada pingerida, siis suurim „mullaväsitaja“ on õunapuu, seejärel pirnipuu; luuviljalistest on suurim „mullaväsitaja“ virsikupuu, seejärel mureli-, kirsi- ja ploomipuud (Järvan, 1989).

Viljapuude kasvatustehnoloogias toimuvad pidevalt muutused. Käesoleval

ajal hoitakse õunaistandiku reavahed rohukamaras, võralõikusel tekkinud oksamass jäetakse istandikku ja purustatakse. Istandiku amortiseerumisel ja selle likvideerimisel on võimalik kännustik purustada freesimise teel. Nii säilib puitu talletunud orgaaniline aine tekkekohal ja viiakse looduslikku aineringsesse. Viljapuuistandiku uuendamine ehk renoveerimine niisuguse tehnoloogilise uuendusega ja selle järelmõju vajavad uurimist.

Käesoleva töö eesmärk oli välja selgitada üle 20 aasta vanuse õunaistandiku uuendamise käigus kändude freesimisel tekkinud puidumassi ja puu juurestiku lagunemisel tekkivate laguproduktide mõju noorte õunapuude vegetatiivsele kasvule ja saagi kujunemisele.

Materjal ja meetodika

Katseks valiti maa-ala, kus eelnevalt olid õunapuud 25 aastat kasvanud. Vana õunaistandik oli rajatud 1985. a, kus pookealustena kasutati tugevakasvulisi 'Antonovka' seemikaluseid. Puude istutusskeem oli 7×5 m. Vana õunaistandik likvideeriti 2010. a. Puud lõigati maha ja puude rea kännustik freesiti 20 cm sügavuselt 2011. a kevadel. Reavahedes olev rohukamar purustati randaalimise teel, künti ja tasandati kultivaatoriga.

Pikaajalise monokultuuri järelmõju uurimiseks rajati katse 2011. a. Katses paigutati puude read vahedega 3,5 m nii, et esimene rida sattus vana istandiku freesitud kännustiku rea kohale ja teine rida vana istandiku kahe rea vahele ehk küntud maale. Uues istandikus oli puude vahekaugus 1,66 m, s.t vana istandiku kahe puu (5 m) vahe kohta istutati kolm noort istikut.

Katseala jaotati kolmeks osaks: A osale istutati õunapuud 2011. a, B osale 2015. a, s.o neli aastat hiljem ja C osale 2019. aastal, s.o kaheksa aastat hiljem. Katsealadele B ja C külvati uue istandiku maa ettevalmistamisel 10 m laiuste ribadena järgmised haljasväetiskultuurid: teravili (kaer, oder), valge mesikas ja hulgalehine lupiin. Võrdlusvariandiks oli mustkesa. Käesolev artikkel käsitleb katse B osast kogutud puude vegetatiivse kasvu ja saagi andmeid aastatel 2015–2018.

Katse rajati õunasortidega 'Antei', 'Auksis', 'Lobo', 'Tiina' ja 'Vahur', mis olid vääristatud nõrgakasvulisele pookealusele B9. Igale haljasväetiskultuuri variandile istutati üht sorti 12 puud, kokku 60 puud.

Katsealal oli nõrgalt leetunud (L_k) liivsavi muld, mille agrokeemilised näitajad olid järgmised: pH_{KCl} 5,9, P 123, K 169, Ca 1460 ja B 0,42 mg kg^{-1} . Noortele puudele anti igal kevadel N-väetisena ammooniumnitraati tegevaines 60 kg ha^{-1} võraaluse pinna kohta. Õunapuudele kujundati vabakujuline koonalvõra. Võraoksi kärbiti minimaalselt, püstisi oksa koolutati rõhtsaks, ladvaoksaga konkureerivad ja terava väljumisnurgaga oksad lõigati välja. Puudel mõõdeti tüve jämedust (mm), puu kõrgust (cm), ladvavõrse pikkust (cm). Puude saak (kg)

kaaluti ja koristatud viljade arvu järgi leiti keskmine vilja mass (g).

Katseandmete statistiliseks töötlemiseks kasutati mitmfaktorilist dispersioonanalüüsi. Keskmiste mitmeseks võrdlemiseks kasutati Duncani testi, mille abil selgitati üksteisest oluliselt erinevad tasemed ($p < 0,05$).

Tulemused

Puu vegetatiivset kasvu iseloomustavad puu kõrgus, võra laius, võrse (oksa) pikkus ja tüve läbimõõt. Viimane näitaja on lihtsamalt mõõdetav ja iseloomustab konkreetse puu kasvuhoogu. Puu kõrguse ja ladvavõrse pikkuse andmed annavad ettekujutuse puu varasemate aastate ja viimase vegetatsiooniperioodi kasvu-rütmist. Esimesel kasvuaastal (2015) mõõdeti puude tüve läbimõõt kevadel ja sügisel. Kevadine tüve läbimõõt iseloomustab katsepuude seisuga katse rajamisel. Katsesortide tüve läbimõõt erines sortide lõikes. Esimese kasvuaasta sügisel ilmes istutusvariantide vahel usutav erinevus (tabel 1). Alates teisest kasvuaastast olid freesitud kännureal kasvavad puud tüve läbimõõdu poolest 0,7–2,3 mm võrra jämedamad. Keskmine tüve jämedus erines sortide lõikes. Jämedama tüvega puud kasvasid sortidel ‘Antei’ ja ‘Tiina’.

Tabel 1. Puude tüve läbimõõt (mm) noores õunaistandikus aastatel 2015–2018

Sort	Kevad 2015		Sügis 2015		2016		2018	
	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv
Lobo	13,8 c	12,4 c	15,3 b	14,4 c	20,0 b	18,2 b	29,9 c	26,5 c
Auksis	14,8 a	14,2 a	15,2 b	14,1 c	20,7 b	19,4 b	33,1 b	29,7 b
Tiina	14,5 a	14,2 a	16,2 a	15,5 b	23,0 a	21,3 a	33,5 b	33,5 a
Antei	14,3 b	14,6 a	16,7 a	16,5 a	22,8 a	22,3 a	35,6 a	34,8 a
Vahur	13,4 c	13,2b	14,9 b	14,7 c	19,3 c	16,6 c	29,1 c	25,0 c
Keskmine	14,0 A	13,7 A	15,7 A	15,0 B	21,2 A	19,5 B	32,2 A	29,9 B

Fr – kännustiku reakohale istutatud; Rv – kahe rea vahekohta istutatud puude rida. Erinevad tähed (A ja B) tähistavad istutusvariantide vahelisi usutavaid erinevusi aasta sees; erinevad tähed (a, b, c, d) tähistavad sortidevahelisi erinevusi istutusvariandi piires (Duncan test, $p < 0,05$)

Puu kõrgus sõltus istutuseelsest mulla ettevalmistusest ja sordi omapärast (tabel 2). Teisel aastal pärast istandiku rajamist oli puude kõrgus freesitud kännurea variandis 147 cm ja ridade vahele istutatud puudel 133 cm. Variantide vaheline statistiliselt usutav erinevus säilis ka hilisemal mõõtmisel. Puude ladvavõrse pikkus kolmandal kasvuaastal (2017. aastal), oli oluliselt suurem freesitud kännustiku variandis. Järgmisel, 2018. a, olid ladvavõrse lühemad kõigis katsevariantides ja istutusvariantide vahel olulist erinevust ei ilmnenud. Sortide vaheline maksimaalse ja minimaalse ladvavõrse pikkuse erinevus oli kahanenud 10 cm. Omavahelises võrdluses olid pikemad võrse sortidel ‘Antei’ ja ‘Tiina’.

Tabel 2. Õunapuu vegetatiivse kasvu näitajad (puu kõrgus ja ladvavõrse pikkus, cm) aastatel 2016–2018

Sort	Puu kõrgus, cm				Ladvavõrse pikkus, cm			
	2016		2018		2017		2018	
	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv
Lobo	146 b	134 b	202 b	198 c	49,0 b	45,0 b	24,0 c	22,0 d
Auksis	129 c	118 c	190 c	180 d	43,0 c	38,0 c	28,0 b	25,0 c
Tiina	158 a	136 b	232 a	212 b	54,0 a	49,0 ab	32,0 a	29,0 b
Antei	159 a	156 a	235 a	236 a	54,0 a	52,0 a	28,0 b	32,0 a
Vahur	143 b	121 c	193 bc	181 d	44,0 c	32,0 d	28,0 b	29,0 b
Keskmine	147 A	133 B	210 A	201 B	49,0 A	43,2 B	28,1 A	27,4 A

Fr – kännustiku reakohale istutatud; Rv – kahe rea vahekohta istutatud puude rida. Erinevad tähed (A ja B) tähistavad istutusvariantide vahelisi usutavaid erinevusi aasta sees; erinevad tähed (a, b, c, d) tähistavad sortidevahelisi erinevusi istutusvariandi piires (Duncan test, $p < 0,05$)

Nõrgakasvulistele pookealustele vääristatud puudel moodustuvad õiepungad juba puukoolis. Õiepungade hulk puul sõltub pookekombinatsiooni võrsete kasvurütmist. Õisikute hulk noorel õunapuul näitab potentsiaalset saagivõimet. 2015. a. oli sortide keskmisena 10,3 ja 9,9 õisikut puu kohta (tabel 3).

Tabel 3. Õisikute arv (tk) puul aastatel 2015–2018

Sort	2015		2016		2017		2018	
	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv
Lobo	5,4 c	4,0 c	33,7 b	29,8 b	26,5 c	15,8 d	48,2 b	39,0 c
Auksis	17,8 a	16,7 a	9,2 d	8,9 d	42,1 b	27,0 c	57,2 a	56,8 b
Tiina	11,2 b	8,3 b	15,6 c	20,9 c	49,9 a	52,6 a	43,1 b	52,6 b
Antei	3,7 c	3,3 c	39,5 a	42,7 a	39,2 b	38,8 b	57,8 a	63,8 a
Vahur	12,3 a	19,2 a	10,2 d	7,3 d	48,7 a	39,8 b	19,8 c	18,0 d
Keskmine	9,9 A	10,3 A	21,6 A	21,9 A	41,3 A	34,7 B	45,2 A	46,0 A

Fr – kännustiku reakohale istutatud; Rv – kahe rea vahekohta istutatud puude rida. Erinevad tähed (A ja B) tähistavad istutusvariantide vahelisi usutavaid erinevusi aasta sees; erinevad tähed (a, b, c, d) tähistavad sortidevahelisi erinevusi istutusvariandi piires (Duncan test, $p < 0,05$)

Istutusvariantide vahel olulist erinevust ei ilmnenud, sest õiepungad moodustusid puukoolis kasvades. Oluliselt vähem õisikuid oli sortidel ‘Antei’ ja ‘Lobo’. Teise kasvuaasta kevadel erinesid sordid õisikute arvu poolest. Rohkesti oli õisikuid sordi ‘Antei’ puudel ja olulist vähem sortidel ‘Auksis’ ja ‘Vahur’. Kolmandal kasvuaastal (2017) oli õisikuid puudel oluliselt rohkem freesitud kännurea variandis, sortide keskmisena 41,3 õisikut. Õite rohkuse poolest paistsid silma sordid ‘Tiina’ ja ‘Vahur’. Sordi ‘Lobo’ puudel oli õisikuid peaaegu kaks korda vähem. Neljandal kasvuaastal (2018) õisikute hulk puu kohta istutusvariantides tasakaalustus, olles vastavalt 45,2 ja 46,0. Ilmnesid sortidevahelised erinevused. Rohkearvuliselt oli õisikuid sortide ‘Antei’, ‘Auksis’ ja ‘Tiina’ puudel, oluliselt

vähem sordi 'Vahur' puudel.

Noores istandikus varieerus viljade hulk puude kohta sortide lõikes oluliselt, kuid istutusvariantide vahel olulist erinevust ei ilmnenud (tabel 4). Kõige vähem vilju oli sordil 'Tiina', teisel aastal keskmiselt alla ühe õuna, kolmandal aastal alla kahe õuna ja neljandal aastal kõigest 4–5 õuna puu kohta. Sordi 'Antei' puudel oli viljade hulk järgmine: 2016. a 10,9 tk, 2017. a 23,2 tk ja 2018. a 24,2 tk. Ka sordi 'Auksis' puudel oli 2018. a vilju rohkesti.

Tabel 4. Viljade arv õunapuul (tk) noores õunaistandikus aastatel 2016–2018

Sort	Viljade arv puul, tk					
	2016		2017		2018	
	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv
Lobo	8,1 a	5,0 b	6,1 b	3,0 c	9,4b	10,2b
Auksis	6,2 b	5,4 b	9,1b	8,6b	20,2a	25,0a
Tiina	0,5 d	0,9 d	1,7c	1,8c	5,3bc	4,2c
Antei	7,6 a	10,9 a	21,7a	23,2a	22,4a	24,2a
Vahur	4,0 c	2,2c	9,5b	9,1b	4,3 c	10,4b
Keskm	5,3 A	4,9 A	9,6 A	9,1 A	12,3A	14,8A

Fr – kännustiku reakohale istutatud; Rv – kahe rea vahekohta istutatud puude rida. Erinevad tähed (A ja B) tähistavad istutusvariantide vahelisi usutavaid erinevusi aasta sees; erinevad tähed (a, b, c, d) tähistavad sortidevahelisi erinevusi istutusvariandi piires (Duncan test, $p < 0,05$)

Õite viljastumine ja viljumine varieerus sortide lõikes olulisel määral kõigil kolmel aastal (tabel 5). Viljumise madalaim tase oli 0,6–1,6% ja kõrgeim tase 11,0–13,5% õite arvust puul. Viljade moodustumise madal tase oli silmatorkav sordi 'Tiina' puhul: teisel kasvuaastal 0,6% ja 0,8%, kolmandal kasvuaastal 0,6% ja 0,7% ning neljandal kasvuaastal 1,6% ja 2,4% võrreldavates istutusvariantides. Kärntõveõrna sordi 'Lobo' saagi äpardumise põhjustas varane kärntõve nakkus ja taimekaitse vajakajäämine 2017. a. Noores renoveeritud õunapuuistandikus esimesel neljal aastal puudel moodustunud viljade hulgas istutusvariantide vahel statistiliselt olulist erinevust ei esinenud.

Tabel 5. Õite viljumine (%) noores õunaistandikus aastatel 2016–2018

Sort	Õite viljumine, %					
	2016		2017		2018	
	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv
Lobo	4,8	3,3	4,5	3,7	3,9	5,2
Auksis	13,5	12,0	4,3	6,3	7,0	8,8
Tiina	0,6	0,8	0,7	0,6	2,4	1,6
Antei	3,8	5,1	11,0	11,9	7,7	7,6
Vahur	7,8	6,1	3,9	4,6	4,3	11,5

Fr – kännustiku reakohale istutatud; Rv – kahe rea vahekohta istutatud puude rida

Vana õunapuuistandiku likvideerimisel kannustiku freesimise mõju ei avaldunud ka noorte puude keskmise saagi suuruses (tabel 6), kuid puu saak olevalt istutatud sordist erines olulisel määral. Suurem saak oli 'Antei' puudel, mõnevõrra madalam aga sordil 'Auksis'. Sortide 'Tiina', 'Vahur' ja 'Lobo' saak oli väheldane.

Tabel 6. Puu keskmine saak (kg) noores õunaistandikus aastatel 2016–2018

Sort	Keskmine saak, kg						Kogusaak, kg	
	2016		2017		2018		2016–2018	
	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv	Fr	Rv
Lobo	0,7	0,6	0,7	0,4	1,1	1,1	2,5 c	2,1 c
Auksis	0,9	0,8	1,1	1,1	1,9	2,7	3,9 b	4,6 b
Tiina	0,1	0,1	0,3	1,3	0,6	0,8	0,9 d	2,2 c
Antei	1,3	2,1	3,2	3,0	3,9	4,0	8,4 a	9,1 a
Vahur	0,4	0,1	1,1	1,0	0,4	1,0	1,6 d	2,1 c
Keskm	0,68A	0,74A	1,28A	1,36A	1,58A	1,92A	3,5 A	4,0A

Fr – kannustiku reakohale istutatud; Rv – kahe rea vahekohta istutatud puude rida. Erinevad tähed (A ja B) tähistavad istutusvariantide vahelisi usutavaid erinevusi aasta sees; erinevad tähed (a, b, c, d) tähistavad sortidevahelisi erinevusi istutusvariandi piires (Duncan test, $p < 0,05$)

Arutelu

Taimede juureeritised, lagunevad puulehed, oksad ja kõdunev juurestik on peamised mullaväsimuse põhjustajad. Toksiinidest on olulisemad fenoolsed ühendid. Fenoolid pärsivad tugevasti enamike bakterite arengut, kuid mõjutavad vähem seente elutegevust. Saprotoofsed seened on üldises aineringsis väga tähtsad, kuna lagundavad surnud orgaanilise aine lihtsamateks, teistele organismidele kättesaadavateks ühenditeks. Vana õunapuuistandiku uuendamise katsealal tehti kindlaks 17 saprotoofse seeneliigi esinemine (Zettur, Univer, 2014). Mullaväsimus võib olla seotud floridsiini, floretiini, paljude fenoolhapete ja flavonoididega, mis esinevad õunapuu juurtes, lehtedes, koores ja viljades (Winkelmann jt, 2019). Juured, mis surevad puude kasvu ajal ja juuritud puude mulda jäänud juurejäänused, on floridsiini allikaks mullas. Mineraalväetiste, eriti lämmastikväetiste kasutamine soodustab floridsiini kogunemise pidurdumist õunapuu lehtedes ja juurtes (Moroz, 1990). Lämmastiku ebapiisavuse korral toimub valkude sünteesi kahanemine ja suureneb fenüülalkaniisi osakaal ja flavonopiidide süntees (Miidla, 1970; Margna, 1980; Moroz, 1980). Noorte puude igakevadine lämmastikuga väetamine tõenäoliselt pidurdas fenoolsete ühendite moodustumist. Võrreldes pookealusel B9 kasvavate noorte õunapuude saagikande algust varasemates katsetes saadud tulemustega, siis ilmneb sarnasusi. A. Veidenbergi pookealuste võrdluskatses (rajatud 1987) oli kolmandal aias kasvamise aastal puu keskmine saak

sordil 'Paide taliõun' 0,1 kg, 'Lobo' 0,2 kg, 'Liivi kuldrenett' 0,3 kg ja 'Tellisaare' 0,7 kg. Pollis 2005. a rajatud katses oli sordi 'Auksis' puu saak kolmandal aias kasvu aastal 1,5 kg ja neljandal kasvuaastal 2,9 kg. Puu kõrgus ja tüve jämedus jäid samasse suurusjärku nagu käesolevaski katses (Univer jt, 2010). Seega, noorte puude saagi osas ei ole selgust võimalikust mullaväsimuse järelmõjust. Madalam saagitase võib olla põhjustatud õite ebapiisavast viljastumisest. Õunapu vana istandiku renoveerimisel sobib haljasväetisena kasutada valget mesikat. Haljasväetisega mulda antud orgaanilise aine lagunemisel tekkinud toitainete mõjul hoogustub puude vegetatiivne kasv (Univer, 2022). Õunapu istandiku renoveerimise katset on otstarbekas jätkata.

Kokkuvõte

1. Amortiseerunud õunapu istandikus kändude kõrvaldamine freesimise teel, kui nelja aasta jooksul enne uute õunapuude istutamist on kasutatud haljasväetisi, soodustab noorte puude pikkuse ja tüve jämenemise kasvu võrreldes variandiga, kus puud istutati vana istandiku reavahedesse.

2. Õisikute teke, õite viljastumine ja puu saak sõltuvad oluliselt kasvatatud õunasordist, mitte niivõrd sellest kas renoveeritavas istandikus on õunapuud istutatud vanade õunapuude freesitud kännustiku reale või reavahedesse.

Tänuavaldused

Katsealuse maa valmistas ette Polli aiandusuuringute keskuse tollane majandusdirektor Riho Männik (praegune Soomaa rahvusparki külastusala juht) ja kännustiku freesis Georg Artma.

Kasutatud kirjandus

- Abakumova, M., Univer, T. 2020. Noorte õunapuude kasvu pärssiv mullaväsimus. – Agronoomia 2020, lk 10–17.
- Järvan, U. 1989. Mullaväsimus. – Aiandus. Mesindus 4, lk 12–13.
- Margna, U. 1963. Vlijanije razlitšnõh podvojev na kompleks polifenol`nõh sojedinenii v privoje slivõ. – Avtoref. diss. kand biol. nauk, Tallinn, 25 s.
- Margna, Ü. 1980. O meste biosinteza flavoniidov v obštšej sisteme metabolizma rastenij. Žurn. Obists. Biologii. – 1980. 41, 1, s 68–79.
- Miidla, H. 1965. Floridzin v katšestve faktora potšvoutomlenija v plodovõh sadah. – Agrohimija 9, s 109–112.
- Miidla, H. 1970. Fenol`nõje sojedinenija i lignifikatsija pobegov jabloni v svjazi s mineral`nõm pitanijem i vodnõm režimom. – Avtoref. diss. d-ra biol. nauk, Kiev, 39 s.
- Moroz, P. A. 1980. Allelopatija v plodovõh sadah. – Narodova dumka, Kiev, 206 s.

- Sarapuu, L. 1971. Fizioloģitšeskaja rol i metabolizm floridzina v jablone. – Avtoref. diss. d-ra biol. nauk, 42 s.
- Zettur, I., Univer, T. 2015. Puitulagundavad seened renoveeritavas õunapuuistanduses. – *Agronomija* 2015, lk 195–198.
- Univer, T., Kviklys, D., Lepsis, J., Univer, N. 2010. Early performance of Auksis apple trees on dwarfing rootstocks in Baltic region. – *Agronomy Research* 8 (Special Issue III), pp 743–748.
- Univer, 2022. Haljasvæetiskultuuride kasvatamise mõju õunaistandiku renoveerimisel. – *Teaduselt mahepõllumajandusele 2022*, lk 116–121.
- Winkelmann, T., Smalla, K., Amelung, W., Baab, G., Grünewaldt-Stöcker, G., Kanfra, X., Meyhöfer, R., Reim, S., Schmitz, M., Vetterlein, D., Wrede, A., Zühlke, S., Grünewaldt, J., Stefan Weib, S. Schloter, M. 2019. Apple replant disease: causes and mitigation strategies. – *Current Issues in Molecular Biology* 30, pp 89–105.



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa investeeringud
maapiirkondadesse