

Agraarteadus
*Journal of
Agricultural Science*

Vol. 34 No. 1
June 2023

1 • XXXIV • 2023, p-ISSN 1024-0845, e-ISSN 2228-4893

Kaastööde esitamiseks ja lugemiseks külastage: <https://agrt.emu.ee>
For online submission and open access visit: <https://agrt.emu.ee/en>

AGRAARTEADUS

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE



Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi väljaanne
Estonian Academic Agricultural Society publication
Tartu 2023



Toimetuskolleegium / Editorial Board**Peatoimetaja kohusetäitja / Interim Editor-in-Chief**

Marko Kass Centre of Estonian Rural Research and Knowledge

Tehniline toimetaja / Technical Editor

Sirje Tamm Centre of Estonian Rural Research and Knowledge

Secretary General

Kerttu Keir Estonian University of Life Sciences

Toimetajad / Editors

Maarika Alaru Estonian University of Life Sciences
David Arney Estonian University of Life Sciences
Tanel Kaart Estonian University of Life Sciences
Evelin Loit-Harro Estonian University of Life Sciences
Marten Madisoo Estonian University of Life Sciences
Toomas Orro Estonian University of Life Sciences
Reelika Rätsep Estonian University of Life Sciences
Tiina Talve Centre of Estonian Rural Research and Knowledge
Alo Tänavots Estonian University of Life Sciences
Ants-Hannes Viira Estonian University of Life Sciences

Rahvusvaheline nõukogu / International Advisory Board

Timo Arula University of Tartu, Estonia; University of Maryland, USA
Berit Bangoura University of Wyoming, USA
Ants Bender Centre of Estonian Rural Research and Knowledge
Volodymyr Bulgakov National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Edward H. Cabezas-Garcia National University of San Marcos, Peru
Gunita Deksnė Institute of Food Safety, Animal Health and Environment "BIOR", Latvia
Edenio Detmann Federal University of Viçosa, Brasil
Margareta Emanuelson Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden
Martti Esala Natural Resource Institute Finland, Luke, Finland
Marek Gaworski Warsaw University of Life Sciences, Poland
Csaba Jansik Natural Resource Institute Finland, Luke, Finland
Iveta Kociņa Institute of Food Safety, Animal Health and Environment "BIOR", Latvia
Zita Kriaučiūnienė Vytautas Magnus University, Lithuania
Sven Peets Harper Adams University, UK
Jan Philipsson Swedish University of Life Sciences, Sweden
Vidmantas Pileckas Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania
Baiba Rivza Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia
Aldona Stalgienė Institute of Economics and Rural Development of the Lithuanian Centre for Social Sciences
Priit Tammeorg University of Helsinki, Finland
Vita Tilvikienė Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuania
Merko Vaga Swedish University of Life Sciences, Sweden
Rein Viiralt Estonian University of Life Sciences, Estonia

Abstracted / indexed: AGRICOLA, AGRIS, CABI, CABI Full Text, DOAJ, EBSCO, SCOPUS, etc

p-ISSN: 1024-0845, **e-ISSN:** 2228-4893

Väljaandmist toetavad Eesti Maaülikool ja Maaelu Teadmuskeskus

Supported by Estonian University of Life Sciences and Centre of Estonian Rural Research and Knowledge

Trükk / Print: Eesti Ülikoolide Kirjastus OÜ. Kaanepilt / Cover image by LesenFox / Freepik

AGRAARTEADUS

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE

1 ♦ XXXIV ♦ 2023

Väljaandja: Akadeemiline Põllumajanduse Selts
 Peatoimetaja kt: *PhD* Marko Kass
 Aadress: Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu
 e-post: jas@emu.ee
 www: https://aps.emu.ee, https://agrt.emu.ee

Agraarteaduses avaldatud teaduspublikatsioonid on retsenseeritud.

SISUKORD

TEADUSARTIKLID

- M. Toom, L. Talgre, S. Tamm, Ü. Tamm, I. Tamm, L. Narits, T. Talve, L. Edesi, E. Lauringson*
 Vahekultuuride biomassi moodustamise ja lämmastiku sidumise võime ning mõju
 suviokra saagile 1
- M. Lillenberg, K. Kipper, K. Herodes, A. Astover, A. Toomsoo, D. Anton, L. Nei*
 Sulfoonamiidide ja fluorokinolonide akumulatsioonid mullast taimedesse 9
- H. Madsen, A. Luik, V. Eremeev, E. Mäeorg, L. Talgre*
 Umbrohtude biomassi, arvukuse ja mitmekesisuse muutused pikaajalise külvikorra
 katse teises rotatsioonis 18
- K. Nurk, M. Nurmet*
 Kliimamuutustega seotud kohanimismeeetmete rakendamine põllumajandusettevõtetes ... 31
- V. Roychev, N. Keranova*
 Quantity of colouring substance in grapes and raisins from seedless hybrid forms with
 coloured grape juice (*Vitis vinifera* L.) 39
- M. Voitovyk, A. Butenko, I. Prymak, Y. Mishchenko, M. Tkachenko, O. Tsyuk,
 O. Panchenko, Y. Sleptsov, T. Kopylova, O. Havryliuk*
 Influence of fertilizing and tillage systems on humus content of typical chernozem 44
- K. Meremäe, J. Koskar, T. Püssa, P. Raudsepp, D. Anton, M. Roasto*
 Ülevaade taimsete lisandite antimikroobse toime uuringutest in vitro ja tooretas
 seahakklihatoodetes 51
- R. Kõlli, T. Tõnutare*
 Leetunud muld on eesti aasta 2023 muld 61

JUUBELID

- R. Kõlli, R. Järlik*
 Tõnu Saarman – 75 71

MÄLESTUSPÄEVAD

- A. Bender*
 Herbert Korjus – 100 74

AGRAARTEADUS

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE

1 ♦ XXXIV ♦ 2023

Published by: Estonian Academic Agricultural Society
 Interim Editor in Chief: Marko Kass, *PhD*
 Address: Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu, Estonia
 e-mail: jas@emu.ee
 www: <https://aps.emu.ee>, <https://agrt.emu.ee>

Research articles published in *Agraarteadus* are peer-reviewed.

CONTENTS

RESEARCH ARTICLES

- M. Toom, L. Talgre, S. Tamm, Ü. Tamm, I. Tamm, L. Narits, T. Talve, L. Edesi, E. Lauringson*
 The effect of cover crops on biomass and nitrogen accumulation and on spring barley yield ... 1
- M. Lillenberg, K. Kipper, K. Herodes, A. Astover, A. Toomsoo, D. Anton, L. Nei*
 Accumulation of sulfonamides and fluoroquinolones from soil to plants 9
- H. Madsen, A. Luik, V. Ereemeev, E. Mäeorg, L. Talgre*
 Changes in weed biomass, density and diversity in long-term crop rotation experiment
 during second rotation 18
- K. Nurk, M. Nurmet*
 Implementation of adaptation measures related to climate change in agricultural enterprises ... 31
- V. Roychev, N. Keranova*
 Quantity of colouring substance in grapes and raisins from seedless hybrid forms with
 coloured grape juice (*Vitis vinifera* L.) 39
- M. Voitovyk, A. Butenko, I. Prymak, Y. Mishchenko, M. Tkachenko, O. Tsyuk,
 O. Panchenko, Y. Sleptsov, T. Kopylova, O. Havryliuk*
 Influence of fertilizing and tillage systems on humus content of typical chernozem 44
- K. Meremäe, J. Koskar, T. Püssa, P. Raudsepp, D. Anton, M. Roasto*
 Overview of studies on the antimicrobial effect of plant additives in vitro and in raw
 minced pork products 51
- R. Kõlli, T. Tõnutare*
 Podzolic soil is the year 2023 soil of Estonia 61



VAHEKULTUURIDE BIOMASSI MOODUSTAMISE JA LÄMMASTIKU SIDUMISE VÕIME NING MÕJU SUVIODRA SAAGILE

THE EFFECT OF COVER CROPS ON BIOMASS AND NITROGEN ACCUMULATION AND ON SPRING BARLEY YIELD

Merili Toom¹, Liina Talgre², Sirje Tamm¹, Ülle Tamm¹, Ilmar Tamm¹, Lea Narits¹, Tiina Talve¹, Liina Edesi¹,
Enn Lauringson²

¹Maaelu Teadmiskeskus, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva

²Eesti Maaülikool, põllumajandus ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu

Saabunud:
Received: 27.05.2023

Aktspteeritud:
Accepted: 21.06.2023

Avaldatud veebis:
Published online: 15.08.2023

Vastutav autor:
Corresponding author: Merili Toom

E-mail: merili.toom@metk.agri.ee

ORCID:

0000-0001-8779-1025 (MT)
0000-0003-0949-6973 (LT)
0000-0002-0258-2951 (ÜT)
0000-0003-4934-988X (IT)
0000-0002-7856-8726 (LN)
0000-0002-8659-5759 (TT)
0000-0002-8871-1071 (LE)

Keywords: cover crops, biomass,
nitrogen accumulation, crop yield

DOI: 10.15159/jas.23.01

ABSTRACT. Cover crops play an important role in preventing nutrient loss, reducing agricultural inputs, improving soil quality and environmental sustainability. The objectives of the study were to determine the biomass and nitrogen accumulation of cover crops and their effect on the following spring barley (*Hordeum vulgare* L.). Field trials with cover crop species winter rye (*Secale cereale* L.), winter turnip rape (*Brassica rapa* spp. *oleifera* L.), forage radish (*Raphanus sativus* L. var. *longipinnatus*), hairy vetch (*Vicia villosa* Roth), and berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) were carried out during four growing seasons (2016/17, 2017/18, 2018/19, and 2019/20) at the Estonian Crop Research Institute (present: The Centre of Estonian Rural Research and Knowledge, METK). Cover crop biomass and N accumulation in autumn and in spring depended on species and growing conditions. The biomass and nitrogen (N) accumulation were at their lowest in the first growing season (2016/17) due to lowest level of effective temperatures. Forage radish accumulated the highest amount of biomass and N in autumn. Berseem clover accumulated lowest amount of biomass and N in the year with drought conditions (2018) before sowing. Among overwintered cover crops, hairy vetch accumulated the highest amount of N in the spring although its biomass was similar to winter turnip rape. Winter rye had the lowest biomass and N accumulation in spring. As an average over the four years, only forage radish and hairy vetch significantly increased the yield of subsequent barley. None of the cover crops had a negative effect on barley, as the yield level following other species was similar to the control without cover crop. The knowledge about cover crop selection is useful to integrate suitable species into Estonian cropping systems.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Vahekultuuridel on keskkonnasäästlikus taimekasvatases tähtis roll, aidates vältida mulla toitainete kadu põhikultuuride vabal perioodil, parandada mulla kvaliteeti ja vähendada sünteetilisi sisendeid (Plaza-Bonilla jt, 2015; Żuk-Gołaszewska jt, 2019).

Vahekultuurid külvatakse enamasti hilissuvel või sügisel pärast põhikultuuri koristust ja viiakse mulda kevadel enne järgmise kultuuri külvi (Weil ja Kremen, 2007). Nende efektiivsus sõltub suuresti biomassist,

mille moodustumist mõjutab nii vahekultuuri liik, kasvuperioodi pikkus kui ka mulla- ja ilmastikutingimused (Ruis jt, 2019). Põhjamaistes kliimatingimustes jääb vahekultuuri kasvuperiood pärast põhikultuuri koristust lühikeseks, mistõttu on väga oluline kiirekasvuliste liikide valik (Holland jt, 2021). Vahekultuuridena kasvatatakse enamasti kõrrelisi ja ristõielisi, mis on efektiivsed mulla lämmastiku (N) sidujad (Tosti jt, 2012; Tuulos jt, 2014) ning liblikõielisi, mis on õhulämmastiku sidujad (Perrone jt, 2020). Talvituvad vahekultuurid kasvavad ja seovad



lämmastikku järgneval kevadel kuni nende muldaviimiseni. Külmaõrnad liigid lagunevad enne põhikultuuri külvamist, võimaldades keskkonnasäästlikku kasutamist ka otsekülvi tingimustes (Lawley jt, 2012).

Pärast muldaviimist saavad mikroorganismide poolt lagundatud biomassist vabanenud toitained kasutada järgnevat kultuurid. Sõltuvalt biomassi kogusest ja keemilisest koostisest, keskkonnateguritest ning agrotehnoloogiast, võib vahekultuuride mõju põhikultuuri saagile olla varieeruv (Jahanzad jt, 2017; Mancinelli jt, 2019).

Uurimistöö eesmärk oli hinnata sügistalviste vahekultuuride – talirukis (*Secale cereale* L.), talirüps (*Brassica rapa* subsp. *oleifera* L.), kesaredis (*Raphanus sativus* L. var. *longipinnatus*), talivikk (*Vicia villosa* Roth) ja Aleksandria ristik (*Trifolium alexandrinum* L.) – biomassi moodustumise ja lämmastiku sidumise võimet ning mõju järgneva suviadra (*Hordeum vulgare* L.) saagile.

Materjal ja meetodika

Põldkatsed viidi läbi katseaastatel 2016/17, 2017/18, 2018/19 ja 2019/20 Eesti Taimekasvatuse Instituudis (praegune Maaelu Teadmiskeskus). Katsealal oli leostunud kamar-karbonaat liivsavimuld (IUSS 2015), mille agrokeemilised näitajad olid järgmised: pH_{KCl} 6,2; P 104 ning K 194 mg kg⁻¹; C_{org} 2,0%; N_{üld} 0,15%. Katses olid vahekultuurideks kesaredis (Tillage radish®, 10 kg ha⁻¹), talirüps ('Largo', 10 kg ha⁻¹), talivikk ('Villana' 50 kg ha⁻¹), Aleksandria ristik ('Akenaton', 15 kg ha⁻¹) ja talirukis ('Sangaste', 180 kg ha⁻¹), lisaks oli vahekultuurita kontrollvariant. Vahekultuurid külvati pärast teravilja koristust kõikidel aastatel augusti esimesel nädalal 24 m² suuruste katse-lappidena randomiseeritult neljas korduses. Taime maapealne ja -alune biomass määrati sügisel vegetatsiooniperioodi lõpus ning talvituvatel liikidel (talirukis, talirüps ja talivikk) ka kevadel, vahetult enne vahekultuuride sisseküüdi ja suviadra külvil ning väljendati kuivaines kg ha⁻¹. Suviader 'Maali' (400 idanevat tera m²) külvati väetisi kasutamata igal aastal vahetult pärast vahekultuuride sisseküüdi mai esimesel nädalal. Suviadra terasaak (kg ha⁻¹) arvutati 14% niiskusesisaldusele. Taime süsiniku (C) ja lämmastiku (N) üldsisaldus määrati Dumas kuivpõletusmeetodil CNS elementanalüsaatoriga Eesti Maaülikooli mullateaduse ja agrokeemia laboris.

Keskmine õhutemperatuur vahekultuuride kasvuperioodil sügisel (augusti algusest oktoobri lõpuni) oli 2016. ja 2017. aastal (vastavalt 10,5 ja 10,8 °C) sarnane pikaajalisele keskmisele (10,4 °C) ning 2018. ja 2019. aastal kõrgem (vastavalt 12,7 ja 11,1 °C). Efektiivsete temperatuuride summa (> +5 °C) (ETS) vahekultuuride kasvuperioodil 2016., 2017., 2018. ja 2019. aastal oli vastavalt 566, 597, 747 ja 608 °C. Keskmine sademete hulk oli 2016. ja 2017. aastal (vastavalt 84 ja 92 mm) suurem võrreldes pikaajalise keskmisega (74 mm) ja mõnevõrra väiksem 2019. aastal (68 mm). 2018. aastal eelnes vahekultuuride külvile väga kuiv periood:

juulikuu sademete hulk (15 mm) oli pikaajalisest keskmisest (79 mm) oluliselt madalam. Vihmasadu algas päev pärast vahekultuuride külvil, 4. augustil ja kuu lõpuks oli sademete hulk 76 mm, olles 13 mm võrra pikaajalisest keskmisest (89 mm) väiksem. Septembris oli sademete hulk (72 mm) aga pikaajalisest keskmisest (66 mm) suurem ja oktoobri lõpuks oli kogu kasvuperioodi (august-oktoober) keskmine sademete hulk (75 mm) sarnane pikaajalisele keskmisele (74 mm). Kevadel oli efektiivsete temperatuuride summa alates märtsist kuni vahekultuuride mulda viimiseni 40, 113, 127 ja 79 °C (vastavalt 2017., 2018., 2019. ja 2020. aastal).

Uuritud näitajate vahelist erinevust ($p < 0,05$) analüüsiti dispersioonanalüüsi meetodil statistikatarkvaraga Agrobase Generation II. Vahekultuuride biomassi (maapealne ja -alune) ja N sisalduse aastasiseste erinevuste usutavuse hindamiseks kasutati ühefaktorilist dispersioonanalüüsi (ANOVA). Vahekultuuride ja aasta mõju ning nende faktorite koosmõju vahekultuuride biomassile (maapealne ja -alune) ja N sisaldusele katseaastate (2016–2019 ja 2017–2020) keskmistena kontrolliti kahefaktorilise dispersioonanalüüsiga. Vahekultuuride ja aasta mõju ning nende koosmõju suviadra terasaagile kontrolliti kahefaktorilise dispersioonanalüüsiga. Statistiliselt olulise erinevuse määramiseks kasutati *post hoc* Fisher's Least Significant Difference (LSD) testi. Tulemused loeti statistiliselt oluliseks $p \leq 0,05$ korral.

Tulemused ja arutelu

Vahekultuuride biomass ja N sidumise võime sügisel

Vahekultuuride biomass ja N sidumise võime sõltuvad eelkõige vahekultuuri liigist ja kasvuperioodi ilmastikutingimustest (Talgre jt, 2011; Handlířová jt, 2017). Käesolevas katses oli vahekultuuride biomass ja N sidumise võime väiksem kõige madalama efektiivsete temperatuuride summaga 2016. aastal (tabel 1). Vegetatsiooniperioodi lõpus oli kõikidel uuritud aastatel usutavalt ($p < 0,05$) suurima biomassi (2515–3841 kg ha⁻¹) ja N sidumise võimega (69–126 kg ha⁻¹) kesaredis (joonis 1). See tulenes ka kesaredise massiivsest juurestikust, mille osakaal oli 45–56% kogu biomassist. Võrreldes kesaredisega oli talirüpsi biomass ja N sidumise võime väiksem (vastavalt 1169–2312 kg ha⁻¹ ja 29–74 kg ha⁻¹). Vastupidiselt kesaredisele on talirüps aga talvekindel ning kevadel kasvades seob N muldaviimiseni (Tuulos jt, 2014). Ristõieliste puhul peab aga arvestama, et nad on tundlikud sama perekonna liikide järjestikku kasvatamisel külvikorrast. Lisaks on ristõielised kultuurid pemeestaimeks patogeenile *Plasmodiphora brassicae*, mis põhjustab nuutri teket (Howard jt, 2010).

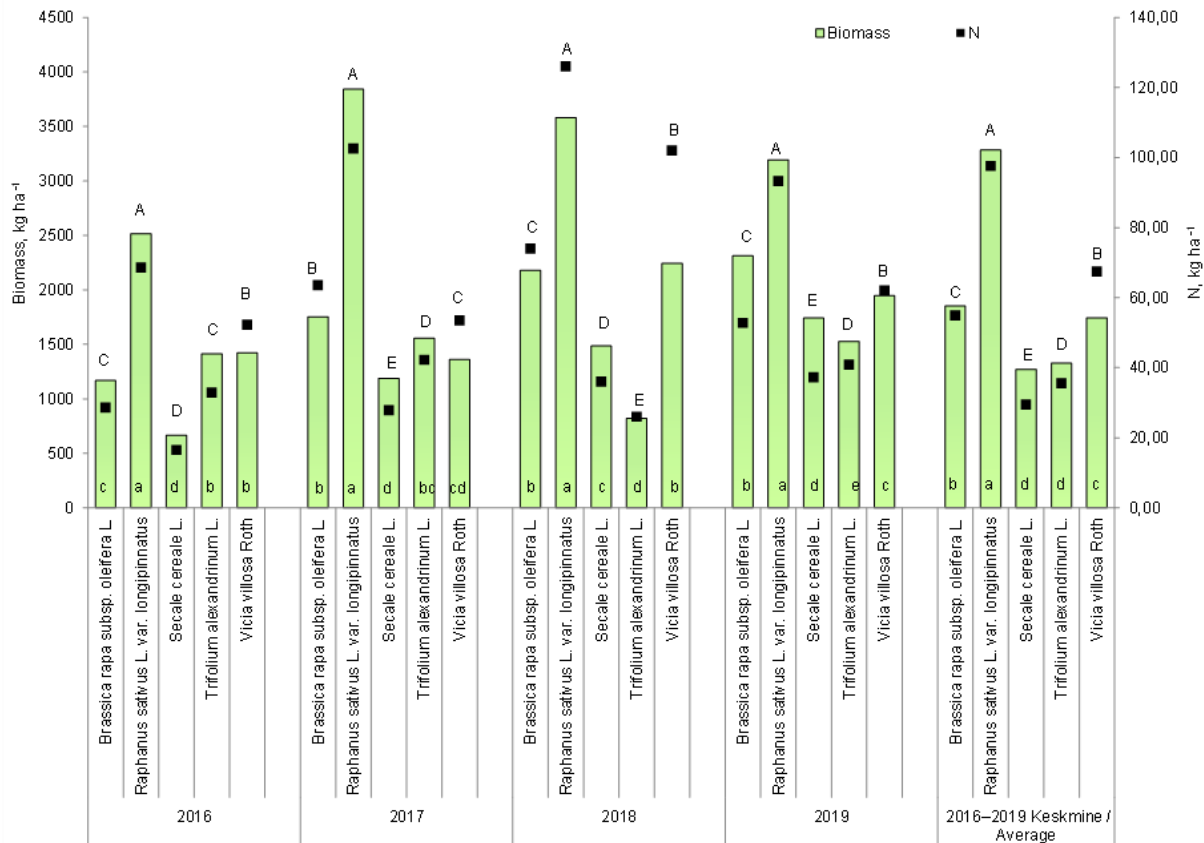
Liblikõieliste vahekultuuride biomassi moodustumise ja N sidumise võime on liigiti erinev (Parr jt, 2011). Meie katses oli taliviki keskmine biomass ja N sidumise võime (1744 ja 67 kg ha⁻¹) suurem kui Aleksandria ristikul (1330 ja 36 kg ha⁻¹). Aleksandria ristiku biomass ja N sidumise võime jäid väiksemaks

Table 1. Vahekuultuuride keskmine biomass (maapealne ja -alune) ja N sidumise võime (kuivainet kg ha⁻¹) 2016–2020. aastal
Table 1. The average biomass (above- and below ground) and nitrogen accumulation of cover crops (dry matter kg ha⁻¹) 2016–2020

	Vahekuultuurid sügisel / Cover crops in autumn, kg ha ⁻¹		Vahekuultuurid kevadel / Cover crops in spring, kg ha ⁻¹	
	biomass / biomass	lämmastik / nitrogen	biomass / biomass	lämmastik / nitrogen
2016	1438 ^c	40 ^c	×	×
2017	1940 ^b	58 ^b	1424 ^d	47 ^d
2018	2062 ^a	73 ^a	2382 ^c	65 ^c
2019	2144 ^a	57 ^b	2901 ^a	84 ^a
2020	×	×	2719 ^b	71 ^b

Samas tulbas erineva tähega (a, b, c, d) tähistatud arvanded erinevad usutatavalt (p < 0.05; ANOVA, Fisher LSD test)

Means followed by the different letter (a, b, c, d) in the same column are significantly different (p < 0.05; ANOVA, Fisher LSD test)



Joonis 1. Vahekuultuuride biomass (maapealne ja -alune) ja N sisaldus (kuivainet kg ha⁻¹) 2016–2019. aastal ning aastate keskmisena sügisel. Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust katsevariantide vahel aasta sees (p < 0.05; ANOVA, Fisher LSD test) (väiketähed – biomass; suurtähed – N).

Figure 1. The biomass (above- and below ground) and nitrogen accumulation of cover crops (dry matter kg ha⁻¹) in autumn 2016–2019 and the average of these years within years, bars marked with different letters are significantly different (p < 0.05; ANOVA, Fisher LSD test) (lowercase letter – biomass; uppercase letter – N).

kuiva külveelse perioodiga 2018. aastal, seevastu talivikil olid need katseastate suurimad. Ka Anderson (2017) leidis, et Aleksandria ristik oli põuatundlik.

Kuigi talirukis on maailmas vahekuultuurina väga levinud suure biomassi moodustamise võime tõttu (Poffenbarger jt, 2015; Hill jt, 2016), siis meie katses jäi rukki biomass ja N sidumise võime sügisel väikeseks (vastavalt 667–1740 kg ha⁻¹ ja 16–37 kg ha⁻¹). Üheks põhjuseks võib olla katses kasutatud sordi ‘Sangaste’ madal võrsumisvõime (Tupits, 2009). Vastupidiselt liblikõielistele on kõrrelised vahekuultuurid tundlikud ka vähese mulla N sisalduse suhtes. Adamson jt (2021) uuring näitas, et vedelsõnnikuga väetamisega on võimalik suurendada vahekuultuuride biomassi. Samal ajal

takistab vahekuultuur sõnnikust toitainete väljaleostumist (Raave, 2021). Vaatamata väikesele biomassile on rukis hea umbrohtude allasuruja (Madsen jt, 2016). Lisaks on uurimused näidanud, et rukis moodustab hilise külvi korral teiste vahekuultuuridega võrreldes suurema biomassi (Van Eerd, 2018; Zhou jt, 2019).

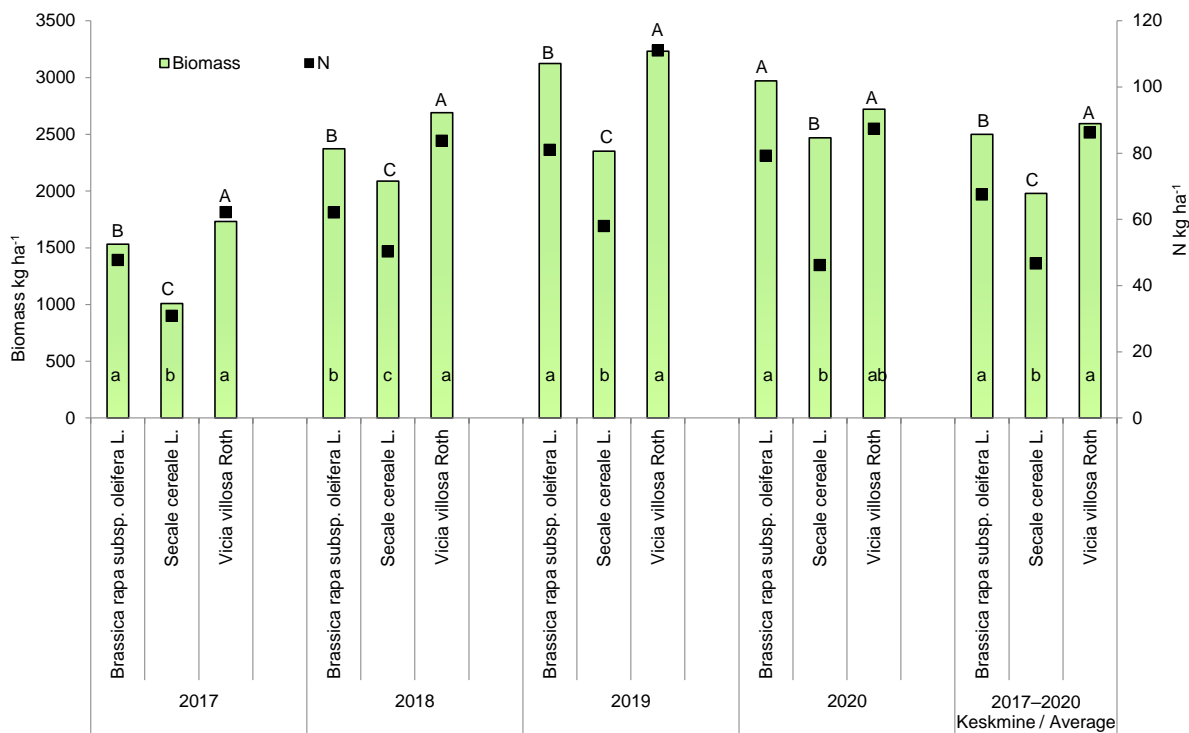
Vahekuultuuride biomass ja N sidumise võime kevadel

Käesolevas uurimuses talvitusid talivikk, talirüps ja talirukis kõikidel katseastatel. Mittetalvituvatest liikidest oli külmaõrnem Aleksandria ristik, hukkudes sügisel esimeste külmadega. Kesaredis oli miinuskraadi-dele vastupidavam, lagunedes lõplikult kevadel mulla sulamisel.

Kevadine biomass ja N sidumise võime sõltusid ilmastikutingimustest vahekultuuride kasvuperioodil, olles kooskõlas varasemate uurimustega (Lawson jt, 2015; Mirsky jt, 2017). Meie tulemused näitasid, et väikseimaks jäi biomass ja N sidumise võime madalaima efektiivsete temperatuuride summaga (40 °C) 2017. aasta kevadel (tabel 1).

Aastate keskmisena ei erinenud taliviki (2593 kg ha⁻¹) ja talirüpsi (2499 kg ha⁻¹) biomass usutavalt (joonis 2),

talivikk oli aga suurema N sidumise võimega (86 kg ha⁻¹) kui talirüps (67 kg ha⁻¹). Väikseima biomassi (1978 kg ha⁻¹) ja N sidumise võimega (47 kg ha⁻¹) oli talirukis. Liblikõieliste vahekultuuride suurt N sidumise võimet kinnitavad ka teiste uuringute tulemused. Perrone jt (2020) katses moodustas rukis oluliselt suurema biomassi võrreldes talivikiga, kuid viimane oli kõrgema N sidumise võimega.



Joonis 2. Vahekultuuride biomass (maapealne ja -alune) ja N sisaldus (kuivainet kg ha⁻¹) 2017–2020. aastal ja aastate keskmisena kevadel. Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust katsevariantide vahel aasta sees ($p < 0.05$; ANOVA, Fisher LSD test) (väiketähed – biomass; suurtähed – N).

Figure 2. The biomass (above- and below ground) and nitrogen accumulation of cover crops (dry matter kg ha⁻¹) in spring of 2017–2020 and the average of these years Within years, bars marked with different letters are significantly different ($p < 0.05$; ANOVA, Fisher LSD test) (lowercase letter – biomass; uppercase letter – N).

Vahekultuuride mõju suviokra saagile

2018. aastal suurenes suviokra saak usutavalt kesareidise ja taliviki järel (vastavalt 460 ja 340 kg ha⁻¹ võrra) (joonis 3). Teistel aastatel variantide vahel usutavaid erinevusi ei olnud, aga 2017. ja 2019. aastal mõjusid talivikk ja kesareidis tendentsina saaki suurendavalt. Nendes variantides suurenes usutavalt suviokra saak ka aastate keskmisena.

Suurema N sisalduse ja kitsama C:N suhte tõttu on liblikõielistel võrreldes teiste vahekultuuridega enamasti suurem positiivne mõju järgnevale kultuurile (Campiglia jt, 2014; Mancinelli jt, 2019). Campiglia jt (2009) leidsid, et taliviki järgselt oli kartuli saagitase võrdväärne mineraalse N väetise variandiga. Talivikil on olnud positiivne mõju ka tomati (Sainju jt, 2003) ja maisi saagile (Teasdale jt, 2004; Parr jt, 2011; Spargo jt, 2016). Väiksema biomassi ja N sidumise võimega liblikõieline, Aleksandria ristik, meie katses odra saagile mõju ei avaldanud. Aleksandria ristik ei moodus-

tanud sügisel suurt biomassi, hukkus esimeste külma-dega ega taganud piisavas koguses N järgnevale kultuurile. Samas on eelnev uurimus Eestis näidanud, et kevadel külvatud Aleksandria ristik moodustab suve jooksul suure biomassi ja seob hulgaliselt N ning suurendab järgnevale taliteraviljade saaki (Tamm jt, 2016).

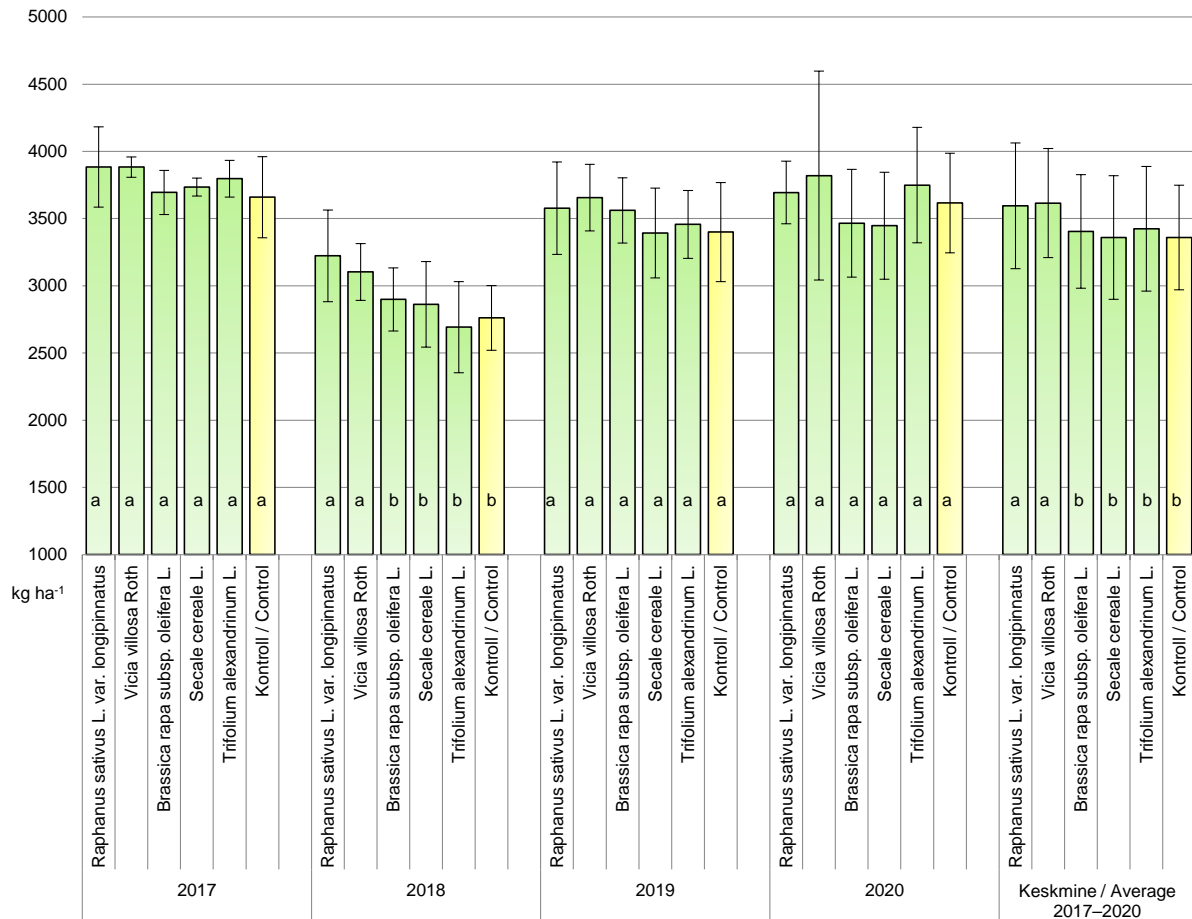
Ka mitte-liblikõielised vahekultuurid võivad siduda mullast arvestatava koguse N ja parandada järgneva kultuuri toitumist. Näiteks ristõielised on võimelised sügavale ulatava juurestikuga siduma N ka mulla alumistest kihtidest. Holland jt (2021) leidsid, et suviokra saak suurenes nendes variantides, kus eelkultuuriks oli kesareidise ja õlirõikast koosnev segu. Johnsons jt (2021) katses oli redise vahekultuuri järel maisi terasaak 5% võrra kõrgem ja üheaastase raiheina järel 13% madalam võrreldes kontrollvariandiga.

Sarnaselt meie tulemustele on kesareidisel olnud positiivne mõju odra (Munkholm ja Hansen, 2012; Sapkota

jt, 2012), aga ka sojaoa (Weil ja Kremen 2006), silomaisi (Wang jt, 2019) ja kartuli (Jahanzad jt, 2017) saagile.

Teatavasti võib osa vahekultuuride poolt seotud lämmastikust leostumise ja lendumise teel kaduma minna, seejuures mittetalvituvatel liikidel on nende lagunemise tõttu N kadu tõenäolisem (Böldt jt, 2021). Rutan ja Steinke (2019) leidsid, et mittetalvituv kesaredis oli küll sügisel efektiivne N siduja, kuid kiiresti lagunenu

biomass ei taganud piisavalt N järgnevale kultuurile. Meie katses N kadu ei mõõdetud, mistõttu ei ole teada kui suur hulk N oli suviodule vahekultuuride järgselt kättesaadav. Seotud N kao vältimiseks peaks mittetalvituvate ja ka kitsa C:N suhtega liikidele (nt liblikõielised) järgnema varakult külvatav põhikultuur (nt teravili). Talvituvatel vahekultuuridel on võimalus kasvada edasi kevadel, mistõttu saab järgneda ka hiljem külvatav kultuur (nt köögivilj) (Sievers ja Cook, 2018).



Joonis 3. Suviokra saak (kuivainet kg ha⁻¹) 2017–2020. aastal ja aastate keskmisena vahekultuuride järgselt võrreldes kontrolliga (ilma vahekultuurita). Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulist erinevust katsevariantide vahel aasta sees ($p < 0.05$; ANOVA, Fisher LSD test). Veajooned tähistavad standardhälvet.

Figure 3. The yield of spring barley (kg ha⁻¹) in 2017–2020, and the average of these years compared to control (without cover crop). Within years, different lowercase letters are significantly different ($p < 0.05$; ANOVA, Fisher LSD test). Error bars mark standard deviation.

Käesoleva katse tulemused näitavad, et uuritud vahekultuuridel ei olnud negatiivset mõju suviokra saagile. See võis olla tingitud biomassi kitsast C:N suhtest (9–18:1), mis vähendas N immobilisatsiooni potentsiaali (Lawson jt, 2013). Suurim oht laia C:N suhte tekkimiseks on kõrrelistel vahekultuuridel hilises kasvufaasis (Hill jt, 2016; Sievers ja Cook, 2018;). Meie katses ei jõudnud rukis vahekultuuride sissekunniks (mai alguses) areneda laia C:N suhtega (generatiivsesse) kasvufaasi. Sarnaselt leidsid ka Jahanzad jt (2017), et rukkil ei olnud negatiivset mõju järgnevale kultuurile, sest muldaviimise ajaks oli biomass veel kitsa C:N suhtega. On leitud, et erinevate liikide segus

kasvatamine aitab C:N suhet tasakaalustada ja negatiivset mõju vältida (Tribouillois jt, 2016; Kaye jt, 2019). Kaye jt (2019) katses vähendas rukki vahekultuur maisi saaki, aga kasvatamisel segus liblikõielisega negatiivne mõju puudus.

Vahekultuuride efektiivsuse suurendamiseks on soovitatav kasutada ka teisi orgaanilisi väetisi. Varasemalt on leitud, et vahekultuuride kasutamisel koos sõnnikuga on suurem mõju järgneva kultuuri saagile (Doltra ja Olesen, 2013; Madsen jt, 2016). Varasemad uuringud on välja toonud, et vahekultuuri positiivne efekt on suurem korduval kasutamisel külvikorras, läbi mullaviljakuse ja orgaanilise aine varu tõusu (Doltra ja Olesen, 2013; Bogužas jt, 2015; Mancinelli jt, 2019).

Järeldused

Uurimistöös selgus, et vahekultuuride biomass ja N sidumise võime nii sügisel kui ka kevadel sõltusid liigist, kasvuperioodi pikkusest ja ilmastikutingimustest. Vahekultuuride keskmine biomass ja N sidumise võime olid väikseimad madalaima efektiivsete temperatuuride summaga katseaastal (2016/17). Sügisel oli suurima biomassi ja N sidumise võimega kesaredis. Aleksandria ristik oli põuatundlik, moodustades väikseima biomassi 2018. aastal, kui vahekultuuride külville eelnes kuiv periood. Talvituvatest vahekultuuridest oli kevadel suurima N sidumise võimega talivikk, kuigi tema biomass oli sarnane talirüpsiga. Väikseima biomassi ja N sidumise võimega oli talirüps. Aastate keskmisena suurendasid vaid kesaredis ja talivikk usutavalt järgneva suviadra saaki, teiste variantide puhul statistiliselt olulised erinevused puudusid. Vahekultuuride järjepideva kasutamisega külvikorras on võimalik tõsta mullaviljakust ja suurendada põhikultuuri saaki.

Tänuavaldused

Uurimistöö on valminud projektide PA1-RUP-026 “Mahepõllumajanduses Eestis kasutamiseks sobivad sordid” (1.03.2016–30.11.2020) ja T170143PKTM “Põhikultuuride järel vahekultuurina kasvatamiseks sobivate liikide ja segude ning nende viljelemiseks sobiva agrotehnika väljatöötamine” toel.

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panused / Authors contributions

MT, LT, EL, LN, ST – katse kontseptsioon ja planeerimine / *study conception and design*;

MT, TT, LE, ÜT – andmete kogumine / *sampling*;

MT, ST, IT – katseandmete analüüs ja tõlgendamine / *data analysis*;

MT, LT, ST, ÜT, IT, LN, TT, LE, EL – käsikirja mustandi kirjutamine / *drafting of manuscript*;

MT, ST, ÜT, LT, EL – lõpliku käsikirja toimetamine ja heaks kiitmine / *critical revision and approval the final version of manuscript*.

Kasutatud kirjandus

[IUSS] Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015 International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps; World Soil Resources Reports No. 106; FAO: Rome, Italy, 2015

Anderson, R.L. 2017. Interseeding berseem clover in winter wheat. – *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(6):573–575.
DOI: 10.1017/S1742170517000023

Bogužas, V., Mikučionienė, R., Šlepetienė, A., Sinkevičienė, A., Feiza, V., Steponavičienė, V., Adamavičienė, A. 2015. Long-term effect of tillage systems, straw and green manure combinations on soil organic matter. – *Zemdirbyste*, 102(3):243–250.
DOI: 10.13080/z-a.2015.102.031

Böldt, M., Taube, F., Vogeler, I., Reinsch, T., Kluß, C. 2021. Evaluating different catch crop strategies for closing the nitrogen cycle in cropping systems – field experiments and modelling. – *Sustainability* 13, 394.
DOI: 10.1007/s13165-020-00294-3

Campiglia, E., Mancinelli, R., Di Felice, V., Radicetti, E. 2014. Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). – *Soil and Tillage Research*, 139:1–7.
DOI: 10.1016/j.still.2014.01.003

Campiglia, E., Paolini, R., Colla, G., Mancinelli, R. 2009. The effects of cover cropping on yield and weed control of potato in a transitional system. – *Field Crops Research*, 112(1):16–23.
DOI: 10.4141/S02-05610.1016/j.fcr.2009.01.010

Doltra, J., Olesen, J.E. 2013. The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. – *European Journal of Agronomy*, 44:98–108.
DOI: 10.1016/j.eja.2012.03.006

Handlířová, M., Lukas, V., Smutný, V. 2017. Yield and soil coverage of catch crops and their impact on the yield of spring barley. – *Plant, Soil and Environment*, 63(5):195–200. DOI: 10.17221/801/2016-PSE

Hill, E.C., Renner, K.A., Sprague, C.L. 2016. Cover crop impact on nitrogen availability and dry bean in an organic system. – *Agronomy Journal*, 108(1):329–341. DOI: 10.2134/agronj2015.0164

Holland, J., Brown, J.L., MacKenzie, K., Neilson, R., Piras, S., McKenzie, B. M. 2021. Over winter cover crops provide yield benefits for spring barley and maintain soil health in northern Europe. – *European Journal of Agronomy*, 130(April).
DOI: 10.1016/j.eja.2021.126363

Howard, R.J., Strelkov, S.E., Harding, M.W. 2010. Clubroot of cruciferous crops - New perspectives on an old disease. – *Canadian Journal of Plant Pathology*, 32(1):43–57.
DOI: 10.1080/07060661003621761

Jahanzad, E., Barker, A.V., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Eaton, T., Park, Y. 2017. Improving yield and mineral nutrient concentration of potato tubers through cover cropping. – *Field Crops Research*, 212:45–51. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.06.023

Johnson, J.M.F., Scott, D., Weyers, S. 2021. Radish and annual ryegrass alter corn yield response to nitrogen rate. – *Soil Science Society of America Journal*, 85(6):2054–2066. DOI: 10.1002/saj2.20311

Kaye, J., Finney, D., White, C., Bradley, B., Schipanski, M., Alonso-Ayuso, M., Hunter, M., Burgess, M., Mejia, C. 2019. Managing nitrogen through cover

- crop species selection in the U.S. Mid-Atlantic. *PLoS ONE*, 14(4):1–23.
DOI: 10.1371/journal.pone.0215448
- Lawley, Y.E., Teasdale, J.R., Weil, R.R. 2012. The mechanism for weed suppression by a forage radish cover crop. – *Agronomy Journal*, 104(2):205–214.
DOI: 10.2134/agronj2011.0128
- Lawson, A., Fortuna, A.M., Cogger, C., Bary, A., Stubbs, T. 2013. Nitrogen contribution of rye-hairy vetch cover crop mixtures to organically grown sweet corn. – *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28(1):59–69. DOI: 10.1017/S1742170512000014
- Madsen, H., Talgre, L., Eremeev, V., Alaru, M., Kauer, K., Luik, A. 2016. Do green manures as winter cover crops impact the weediness and crop yield in an organic crop rotation? – *Biological Agriculture and Horticulture*, 32(3):182–191.
DOI: 10.1080/01448765.2016.1138141
- Mancinelli, R., Muleo, R., Marinari, S., Radicetti, E. 2019. How soil ecological intensification by means of cover crops affects nitrogen use efficiency in pepper cultivation. – *Agriculture (Switzerland)*, 9(7):145.
DOI: /10.3390/agriculture9070145
- Mirsky, S.B., Ackroyd, V.J., Cordeau, S., Curran, W.S., Hashemi, M., Reberg-Horton, S.C., Ryan, M.R., Spargo, J.T. 2017. Hairy vetch biomass across the eastern united states: Effects of latitude, seeding rate and date, and termination timing. – *Agronomy Journal*, 109(4):1510–1519.
DOI: 10.2134/agronj2016.09.0556
- Munkholm, L.J., Hansen, E.M. 2012. Catch crop biomass production, nitrogen uptake and root development under different tillage systems. – *Soil Use and Management*, 28(4):517–529.
DOI: 10.1111/sum.12001
- Parr, M., Grossman, J.M., Brinton, C., Crozier, C. 2011. Nitrogen delivery from legume cover crops in no-till organic corn production. – *Organic Agriculture and Agroecology*, 103(6):1578–1590.
DOI: 10.2134/agronj2011.0007
- Perrone, S., Grossman, J., Liebman, A., Sooksa-nguan, T., Gutknecht, J. 2020. Nitrogen fixation and productivity of winter annual legume cover crops in Upper Midwest organic cropping systems. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 117(1), 61–76.
DOI: 10.1007/s10705-020-10055-z
- Plaza-Bonilla, D., Nolot, J.M., Raffaillac, D., Justes, E. 2015. Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* 212:1–12
- Poffenbarger, H.J., Mirsky, S. B., Weil, R.R., Maul, J.E., Kramer, M., Spargo, J.T., Cavigelli, M.A. 2015. Biomass and nitrogen content of hairy vetch-cereal rye cover crop mixtures as influenced by species proportions. – *Agronomy Journal*, 107(6):2069–2082.
DOI: 10.2134/agronj14.0462
- Raave, H. 2021. Lämmastiku leostumisest ja selle vähendamise võimalustest pärast vedelsõnniku sügisel põllule laotamist. *Agronoomia* 2021, (toim.)
- Tupits, I., Tamm, Ü., Tamm, Toe, A., Vanamb, E, Eesti Taimakasvatuse Instituut, lk 39–51.
- Ruis, S.J., Blanco-Canqui, H., Creech, C.F., Koehler-Cole, K., Elmore, R.W., Francis, C.A. 2019. Cover crop biomass production in temperate agroecosystems. – *Agronomy Journal*, 111(4):1535–1551.
DOI: 10.2134/agronj2018.08.0535
- Rutan, J., Steinke, K. 2019. Corn nitrogen management following daikon radish and forage oat cover crops. – *Soil Science Society of America Journal*, 83(1):181–189. DOI: 10.2136/sssaj2018.07.0269
- Sainju, U.M., Whitehead, W.F., Singh, B.P. 2003. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. – *Canadian Journal of Soil Science*, 83(2):155–165.
DOI: 10.4141/S02-056
- Sievers, T., Cook, R.L. 2018. Aboveground and Root Decomposition of Cereal Rye and Hairy Vetch Cover Crops. – *Soil Science Society of America Journal*, 82(1):147–155. DOI: /10.2136/sssaj2017.05.0139
- Spargo, J.T., Cavigelli, M.A., Mirsky, S.B., Meisinger, J.J., Ackroyd, V.J. 2016. Organic supplemental nitrogen sources for field corn production after a hairy vetch cover crop. – *Agronomy Journal*, 108(5):1992–2002. DOI: 10.2134/agronj2015.0485
- Zhou, Y., Roosendaal, L., Van Eerd, L.L. 2019. Increased nitrogen retention by cover crops: implications of planting date on soil and plant nitrogen dynamics. – *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1–10. DOI: 10.1017/S1742170519000383
- Żuk-Gołaszewska, K., Wanic, M., Orzech, K. 2019. The role of catch crops in field plant production. – *A review. – Journal of Elementology*, 24(2):575–587.
DOI: 10.5601/jelem.2018.23.3.1662
- Talgre, L., Lauringson, E., Makke, A., Lauk, R. 2011. Biomass production and nutrient binding of catch crops. – *Zemdirbyste*, 98(3):251–258
- Tamm, I., Tamm, Ü., Ingver, A., Koppel, R., Tupits, I., Bender, A., Tamm, S., Narits, L., Koppel, M. 2016. Different leguminous pre-crops increased yield of succeeding cereals in two consecutive years. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 66(7):593–601.
DOI: 10.1080/09064710.2016.1205125
- Teasdale, J.R., Devine, T.E., Mosjidis, J.A., Bellinder, R.R., Beste, C.E. 2004. Growth and development of hairy vetch cultivars in the northeastern United States as influenced by planting and harvesting date. – *Agronomy Journal*, 96(5):1266–1271.
DOI: 10.2134/agronj2004.1266
- Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Pace, R., Tei, F., Guiducci, M., Thorup-Kristensen, K. 2012. Green manuring effect of pure and mixed barley-hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. – *European Journal of Agronomy*, 43:136–146. DOI: 10.1016/j.eja.2012.06.004
- Tribouillois, H., Cohan, J.P., Justes, E. 2016. Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring:

- assessment combining experimentation and modeling. – *Plant Soil*. 401(1–2):347–64.
DOI: 10.1007/s11104-015-2734-8
- Tupits, I. 2009. Külviaja ja külvisenormi mõju talirukki saagile. Põllukultuuride sordid, omadused ja soovitusi kasvatamiseks. Jõgeva, lk 30–35.
- Tuulos, A., Yli-Halla, M., Stoddard, F., Mäkelä, P. 2014. Winter turnip rape as a soil N scavenging catch crop in a cool humid climate. – *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1):359–366.
DOI: 10.1007/s13593-014-0229-2
- Van Eerd, L.L. 2018. Nitrogen dynamics and yields of fresh bean and sweet corn with different cover crops and planting dates. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 111(1):33–46.
DOI: 10.1007/s10705-018-9914-x
- Wang, F., Weil, R.R., Han, L., Zhang, M., Sun, Z., Nan, X. 2019. Subsequent nitrogen utilisation and soil water distribution as affected by forage radish cover crop and nitrogen fertiliser in a corn silage production system. – *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 69(1):52–61.
DOI: 10.1080/09064710.2018.1498911
- Weil, R.; Kremen, A. 2007. Thinking across and beyond disciplines to make cover crops pay. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(4):551–557. DOI: 10.1002/jsfa.2742

The effect of cover crops on biomass and nitrogen accumulation and on spring barley yield

Merili Toom¹, Liina Talgre², Sirje Tamm¹, Ülle Tamm¹, Ilmar Tamm¹, Lea Narits¹, Tiina Talve¹, Liina Edesi¹, Enn Lauringson²

¹Centre of Estonian Rural Research and Knowledge, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva, Estonia

²Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Soil Science, 5 Fr. R. Kreutzwaldi St., 51006 Tartu, Estonia

Summary

The study showed that cover crop biomass and N accumulation in autumn and in spring is related to species, the length of the growing season, and the weather conditions. Out of five species studied, forage radish accumulated the highest amount of biomass and N in autumn. Berseem clover accumulated the lowest amount of biomass and N, especially in the year (2018) with drought conditions before the establishment. Among over-wintering species, hairy vetch accumulated the highest amount of N in the spring, although it had similar biomass with winter turnip rape. Winter rye accumulated the lowest amount of biomass and N. As an average over the years, only forage radish and hairy vetch significantly increased the yield of subsequent barley. The yield level following the other cover crops was similar to the control.



SULFOONAMIIDIDE JA FLUOROKINOLOONIDE AKUMULEERUMINE MULLAST TAIMEDESSE

ACCUMULATION OF SULFONAMIDES AND FLUOROQUINOLONES FROM SOIL TO PLANTS

Merike Lillenberg¹, Karin Kipper², Koit Herodes², Alar Astover³, Avo Toomsoo³, Dea Anton¹, Lembit Nei⁴

¹Eesti Maaülikool, veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut, veterinaarse biomeditsiini ja toiduhügieeni õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 56/3, 51014 Tartu

²Tartu Ülikool, keemia instituut, Ravila 14a, 50411 Tartu

³Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu

⁴Tallinna Tehnikaülikool, Tartu Kolledž, Puiestee 78, 51008 Tartu

Saabunud: 12.12.2022
Received: 12.12.2022

Aktsepteeritud: 29.06.2023
Accepted: 29.06.2023

Avaldatud veebis: 15.08.2023
Published online: 15.08.2023

Vastutav autor: Merike
Corresponding author: Lillenberg

E-mail: merike.lillenberg@emu.ee

ORCID:

0000-0002-1550-5912 (ML)
0000-0002-7295-8993 (KK)
0000-0003-1763-1784 (KH)
0000-0002-8924-6925 (AA)
0000-0002-9176-8335 (AT)
0000-0002-6113-5342 (DA)
0000-0002-6399-7093 (LN)

Keywords: plant uptake, soil, fertilization, fluoroquinolones, sulfonamides, LC-ESI-MS/MS.

DOI: 10.15159/jas.23.04

ABSTRACT. The current study was conducted to determine the potential for some antibiotics to be taken up by food plants from soil fertilized with manure, sewage sludge or its compost containing antibiotic residues. The plants (potato – *Solanum tuberosum* L., carrot – *Daucus carota* L., and wheat – *Triticum aestivum* L.) were cultivated in greenhouse under natural light conditions in the presence of three fluoroquinolones (ciprofloxacin, ofloxacin, and norfloxacin), and two sulfonamides (sulfadimethoxine and sulfamethoxazole). The uptake of antibiotics was demonstrated from two different soils (loamy and loamy sand). The concentrations of each antibiotic in soil were 0.01, 0.1, 0.5, 1.0, and 10 mg kg⁻¹. The antibiotics were extracted from the plants using the liquid extraction (LE) and cleaned up by the solid phase extraction (SPE). The extracts were analyzed by liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry (LC-ESI-MS/MS). The accumulation range depended on antibiotic concentration in soil, chemical properties of the antibiotic, soil type, plant species and parts (overground or below-ground). At soil concentrations of 10 mg kg⁻¹ antibiotics accumulated in edible parts of most plants in amounts, which exceeded their maximum residue levels (MRL) set for food of animal origin – 100 µg kg⁻¹. The highest average content of antibiotics was detected in potato tubers and carrot roots grown in the loamy sand soil – 3897 µg kg⁻¹ and 3400 µg kg⁻¹ sulfamethoxazole. Plants accumulated antibiotics (ciprofloxacin and ofloxacin) from soil even at soil concentration of 0.01 mg kg⁻¹. Mostly the highest concentrations of antibiotics were detected in below-ground parts of the plants grown in the loamy-sand soil.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Mulla ja toidutaimede saastumine on muutunud oluliseks uurimisvaldkonnaks nii Eestis (Nei jt, 2009; Nei jt, 2020) kui ka rahvusvaheliselt (Carmosini, Lee, 2008). Viimasel ajal on erilise koha leidnud ravimijääkide käitumise uurimine keskkonnas (Bhatt, Chatterjee, 2022). Läbinud inimese või looma organismi, väljuvad ravimid kas muundumata kujul või metaboliitidena keskkonda (Haiba jt, 2018). Neid on leitud sõnnikust ja reoveest, reoveesetest ja pinnaveest, kompostväetisest ja väetatud mullast. Sõnniku või reoveesete kompostväetise koostises jõuavad ravimid

põllumajandusmaadele (Parente jt, 2019; Shi jt, 2019). Osa neist lagundatakse mulla mikroorganismide poolt mõne päeva või nädala jooksul (Thiele-Bruhn, 2003), stabiilsemad võivad mullas muutumatuna püsida kauem kui aasta (Golet jt, 2002). Seniste andmete põhjal on fluorokinoloonide hulka kuuluvad antibiootikumid ühed kõige püsivamad (Gworek jt, 2021), kusjuures nende aeglast degradeerumist põhjendatakse tugeva adsorptsiooniga tahketele osakestele (Carmosini, Lee, 2008). Golet jt (2002) leidsid reoveesetega väetatud mullast fluorokinoloonide jääke 21 kuu pärast. Walters jt (2010) näitasid oma töös, et kaks aastat ja



ühelksa kuud pärast reoveesetega väetamist oli mullas säilinud rohkem kui pool algsest tsiprofloksatsiini ja ofloksatsiini sisaldusest. Taimkatsed on näidanud, et antibiootikumid fluorokinoloonide ja sulfoonamiidide rühmast on võimelised akumuleeruma mullast taimedesse (Migliore jt, 1995; Migliore jt, 1996; Brambilla jt, 1996; Migliore jt, 2003; Lillenberg jt, 2003; Boxall jt, 2006; Dolliver jt, 2007; Matamoros jt, 2022). Ravimeid nimetatud gruppidest kasutatakse nii veterinaar-kui ka humaanmeditsiinis, mistõttu need võivad sõnniku või reoveesette kompostiga jõuda põllule. Just keskkonnas kauapüsivad antibiootikumid kujutavad endast tõsisemat ohtu mulla mikroorganismidele, häirides sellega ökoloogilist tasakaalu (Montforts, 2005). Põllumullast sööda- või toidutaimedesse akumulunud antibiootikumid võivad olla toksilised taimedele (Migliore jt, 2003) ning ohustada loomade ja inimese tervist (Dolliver jt, 2007). Kuigi on andmeid, et mitmed ravimid jõuavad mullast taimedesse (van Asselt jt, 2022), siis piirnormid ravimijääkide sisaldusele taimses toidutoormes puuduvad. Loomsele toidutoormele kehtestatud ravimijäägi maksimaalne lubatud sisaldus – MRL (*maximum residue limit*) – sõltub ravimi farmakoloogilistest omadustest, looma liigist ja looma koest (EMA/EPMARs, 1995). Osa allikaid (Boxall jt, 2006; Thiele-Bruhn, 2003) väidavad, et ravimijääkide “omas-tamine” mullast on tühine. Teised autorid (Brambilla jt, 1996) vastupidi, peavad ravimite akumulustumist mullast taimedesse sedavõrd tõsiseks probleemiks, et on teinud ettepaneku kehtestada MRL ka taimsele toidutoormele. Kui loomorganismid on võimelised väljutama ravimite jääke ekskrementide ja uriiniga, siis taimedel selline väljutusmehhanism puudub. Seetõttu on võimalik ravimijääkide kontsentreerumine taimedes pika kasvuperioodi jooksul (Lillenberg jt, 2003). Tulemuseks võib olla kõrgem ravimijääkide sisaldus toidutaimedes, kui on lubatud loomses toormes. Artiklis (Jjemba, 2002) rõhutatakse ravimite taimedesse akumulustumise uurimise olulisust.

Käesolevas töös uuriti Eesti reoveesettes tuvastatud (Lillenberg jt, 2009) ja keskkonnas kauapüsivate fluorokinoloonide tsiprofloksatsiini, norfloksatsiini, ofloksatsiini ning sulfoonamiidide rühma kuuluvate sulfadimetoksiini ja sulfametoksasooli akumulustumist erinevate söödavate osadega toidutaimedesse nagu kartul (*Solanum tuberosum L.*), porgand (*Daucus carota L.*) ja nisu (*Triticum aestivum L.*).

Materjal ja meetodika

Kemikaalid

Töös kasutusel olnud fluorokinoloonid: tsiprofloksatsiini (CIP – puhtusega 99,8%), norfloksatsiini (NOR – puhtusega 99,9%) ja ofloksatsiini (OFL – puhtusega 99,3%) ning sulfoonamiidid: sulfadimetoksiin (SDM – puhtusega 99,4%) ja sulfametoksasool (SMX – puhtusega 99,9%) osteti firmast Riedel-de-Haën (Seelze, Saksamaa). Tahke faasi ekstraktsiooni padrunid Oasis HLB (60 µm), 500 mg / 6 ml soetati firmast Waters (Milford, MA, Ameerika Ühendriigid). Atsetonitril ja metanool osteti firmast J.T. Baker

(Deventer, Holland), fosforhape saadi firmast Lachema (Brno, Tsehhi Vabariik), sidrunhappe monohüdraat firmast Fisher Scientific (Pittsburgh, PA, Ameerika Ühendriigid), sipelghape firmast Riedel-de-Haën, ammonium atsetaat firmast Fluka (Buchs, Saksamaa). 1,1,1,3,3,3-heksafluoro-isopropanool ja ammoniaakhüdraat soetati firmast Sigma-Aldrich (St Louis, Missouri, Ameerika Ühendriigid). Kõik töös kasutatud solvendid olid kõrgema puhtusega kui 95%.

Taimede kasvatamine

Katsetaimi kasvatati kasvuhoones plastikpottides looduslike valgustingimuste juures kahes erineva lõimise-ga mullas: liivsavimullas pH 6,7 ja saviliivmullas pH 6,9. Porgandi ‘Nantes’ seemned osteti kauplusest, suvinisu ‘Vinjett’ seemned ja kartuli ‘Anti’ mugulad saadi EMÜ Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi mullateaduse õppetoolist. Igasse potti külvati 35 seemet või pandi 1 kartulimugul. Antibiootikumid lisati kasvumulda vesilahustena. Parema lahustuvuse saavutamiseks lahustati fluorokinoloonid eelnevalt 2 ml-s 0,1 mM ammoniumatsetaat/metanool puhverlahuses 75/25 (pH 2,8, kohandatud 0,1% sipelghappega). Sulfoonamiidid lahustati eelnevalt 2 ml-s 0,3 M NaOH vesilahuses. Kõiki taimi kasvatati kahes erineva lõimise-ga mullas. Iga kontsentratsiooni jaoks võeti kolm potti liivsavimullaga ja kolm potti saviliivmullaga. Seega tehti mõlemas mullas igal kontsentratsioonil kolm paralleelkatset. Kontrolliks kasvatati taimi samuti kahes erineva lõimise-ga antibiootikumidevabas mullas. Kõikide antibiootikumide kontsentratsioonid pottides olid vastavalt 0,01; 0,1; 0,5; 1,0 ja 10 mg kg⁻¹ mulla kuivkaalu kohta. Mulla kogused pottides olid kartulil 5, nisul 3 ja porgandil 1,5 kg. Taimede kasvuaeg oli 120 päeva, seejärel taimed koristati ja eraldati maapealne osa maa-alusest.

Taimede ettevalmistamine analüüsiks

Mullaga kokku puutunud taimes osad pesti hoolikalt jooksva vee all. Taimede söödavad osad kuivatati eraldi: kartulil mugulad, porgandil juur ja nisul seemned. Kartulid ja porgandid tükeldati enne kuivatamist ligikaudu 1 cm³ suurusteks tükkideks. Taimede kuivatamine toimus pimedas akendeta ruumis, et vältida fotokeemilisi reaktsioone, mis võiksid põhjustada fluorokinoloonide lagunemist (Hooper, Wolfson, 1991). Kuivanud taimed jahvatati peeneks laboratoorses veskis Foss. Täieliku kuivkaalu saavutamiseks hoiti jahvatatud materjali kuivatuskapis +45 °C juures 24 tundi. Enne analüüsimist hoiti taimede proove hermeetilistes plastikaatkottides sügavkülmas temperatuuril –80 °C.

Antibiootikumide ekstraheerimine taimedest

Antibiootikumid ekstraheeriti 250 mg proovist 10 ml atsetonitrili ja äädikhappe 1% vesilahusega (1:1, v/v) kasutades vedelik-vedelik ekstraktsiooni (*liquid extraction* – LE) meetodit. Proov homogeniseeriti DIAX 900 seguriga (Heidolph Instruments, Saksamaa) 25 000 rpm juures ning seejärel hoiti proovi ultrahelivannil (5 minutit). Proov segati seejärel Vortex segajal (1 minut) ja tsentrifuugiti 8000 rpm juures.

Proovi supernatant eraldati ning kuivatati lämmastikuvoolus. Umbes 15 ml 1% äädikhappe vesilahust lisati 1 ml kuivatatud proovijäägile. Ekstraktid puhastati täiendavalt tahke faasi ekstrahatsioon (solid phase extraction – SPE) meetodil. Antibiootikumid CIP, NOR, OFL, SDM ja SMX ekstraheeriti kasutades Waters (Milford, MA, USA) HLB statsionaarse faasi padroneid (60 μm , 500 mg / 6 ml). SPE protseduuri jaoks kasutati vaakum-ekstrahatsiooni anumad (Agilent Technologies). HLB padrunid konditsioneeriti 20 ml metanooliga, seejärel 10 ml de-ioniseeritud veega. Proov lisati HLB padrunitele voolukiirusel 6 ml min^{-1} . Pärast ekstrahatsiooni elueeriti analüüdid padrunitelt 12 ml metanooliga. SPE ekstraktid kontsenteeriti polüpropüleenist vialides lämmastikuvoolus. Proovide jääk lahustati 1 ml 10% metanooli lahuses koos puhverlahusega (5 mM 1,1,1,3,3,3-heksafluoro-isopropanool, pH 9,0 seati paika NH_4OH abil).

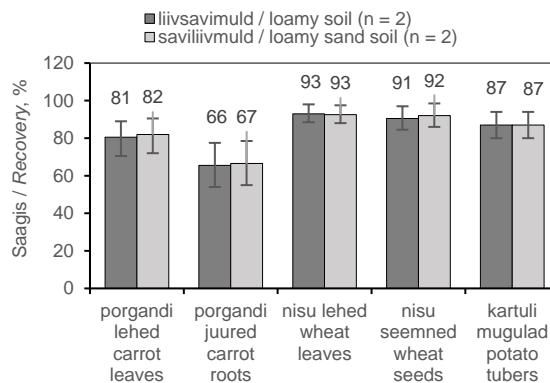
Antibiootikumide sisalduse määramine taimedes

SPE ekstraktid analüüsiti vedelik-kromatograafia elektropihustus tandem massispektromeetria abil (LC-ESI-MS/MS). Antibiootikumid lahutati kromatograafiliselt Waters XBridge C18 kolonni abil (150 mm \times 3 mm, 3,5 μm), millele oli lisatud Waters Guard Cart-ridge 4,6 mm \times 20 mm eelkolonn. Gradientelueerimine teostati metanooli ja heksafluoroisopropanooli (HFIP) sisaldava puhverlahuse abil (5 mM 1,1,1,3,3,3-heksafluoroisopropanool, pH seatud 9,0 juurde NH_4OH abil). Lineaarne gradientprogramm algas 10% metanoolist ja tõusis 100% metanoolini 50 min jooksul, pärast seda hoiti metanooli osakaal 5 minutit 100% juures ning seejärel alandati metanooli osakaal 5 min jooksul 10% - ni ja hoiti seda 10% juures 5 min. Eluendi voolukiirus oli 0,3 ml min^{-1} ja kolonni temperatuur seati 30 $^\circ\text{C}$ ning kolonni süstiti 10 μl ekstrakti.

Metoodika valideerimine

Kirjeldatud metoodika valideeriti, et kinnitada selle usaldusväärsust. Kalibratsioonilahused valmistati eluendis (10% metanooli lahuse heksafluoroisopropanooli vesilahuses). Kalibreerimisgraafikud koostati piigi pindalade ja kontsentratsioonide abil vahemikus 1–10 000 ng ml^{-1} . Kalibreerimine oli lineaarne $r^2 > 0,9998$. Metoodika saagis arvutati lisamismeetodi abil ning saagis varieerus 54 kuni 98%. Keskmised saagised on nähtavad joonisel 1. Metoodika täiendav valideerimine teostati proovimaatriksis, kus saagised olid kõige madalamad – porgandi juurtes, mis olid kasvanud liivsavi- mullas. Seega on valideerimise hinnang metoodikale antud konservatiivselt. Saagis varieerus 54–78% (tabel 1). Keskmised saagised antibiootikumidele porgandi juurtes olid 73% (CIP), 69% (NOR), 76% (OFL), 55% (SDM) ja 70% (SMX), standardhälvetega 1% (CIP), 2% (NOR), 2% (OFL), 1% SDM and 1% SMX. Metoodika määramispiirid (LOQ) olid järgnevad: CIP 108,3; NOR 162,2; OFL 22,9; SDM 71,2 and SMX 130,6 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Standardhälbed vastavalt 2,7; 4,1; 0,6; 1,8 ja 3,3 (tabel 1). Metoodika määramispiiri hinnati kümnekordse standardhälbe abil, mis mõõdeti viie korduskatse tulemuste põhjal ilma antibiooti-

kumideta proovide ja antibiootikumidega rikastatud proovide analüüsimisel. Tulemused, mis jäid alla määramispiiri, näitavad küll antibiootikumide väikest sisaldust porgandis, kuid ei pruugi olla täpsed. Teistes taimedes mulla madalamatel kontsentratsioonidel saadud antibiootikumide sisalduste usaldusväärsus on suurem.



Joonis 1. Keskmised saagised viiele antibiootikumide (CIP, NOR, OFL, SDM, SMX) erinevates taimedes, mida kasvatati erineva loimisega mullades. Veajooned näitavad saagise varieeruvust maatriksis

Figure 1. Average recoveries for 5 antimicrobials (CIP, NOR, OFL, SDM, SMX) detected from different parts of food plants grown in different soils. Error bars show the recovery ranges

Tabel 1. Valideerimisandmed porgandi juures kasutades LE ja SPE meetodit (n = 5) / A – saagise %, B – antibiootikumide kontsentratsioon rikastatud proovides

Table 1. Validation data of antimicrobials in carrot roots using LE and SPE (n = 5) / A – recovery %, B – concentration of antimicrobials in spiked samples $\mu\text{g g}^{-1}$

A. Taime proovid Plant samples	Saagis / Recovery				
Porgandi juured liivsavi- mullas / Carrot roots in loamy soil	SMX	SDM	NOR	CIP	OFL
proov 1 / sample 1	71%	55%	72%	73%	73%
proov 2 / sample 2	71%	54%	68%	75%	78%
proov 3 / sample 3	73%	56%	68%	72%	77%
proov 4 / sample 4	69%	55%	68%	72%	75%
proov 5 / sample 5	70%	54%	70%	72%	78%
keskmise saagis / ave- rage recovery	70%	55%	69%	73%	76%
standardhälve / standard deviation (SD)	1%	1%	2%	1%	2%
B. Antibiootikumide kontsentratsioonid rikastatud proovides $\mu\text{g g}^{-1}$ Concentration of antimicrobials in spiked/ samples $\mu\text{g g}^{-1}$					
Porgandi juured liivsavi- mullas / Carrot roots in loamy soil	SMX	SDM	NOR	CIP	OFL
proov 1 / sample 1	0,1627	0,1265	0,1658	0,1683	0,0225
proov 2 / sample 2	0,1621	0,1248	0,1564	0,1712	0,0239
proov 3 / sample 3	0,1667	0,1284	0,1565	0,1644	0,0235
proov 4 / sample 4	0,1577	0,1273	0,1572	0,1653	0,0231
proov 5 / sample 5	0,1607	0,1241	0,1608	0,1664	0,0237
keskmise kontsentratsioon / average con- centration	0,1620	0,1262	0,1593	0,1671	0,0234
standardhälve / standard deviation (SD)	0,0033	0,0018	0,0041	0,0027	0,0006
LOQ $\mu\text{g ml}^{-1}$	0,0326	0,0178	0,0406	0,0271	0,0057
LOQ $\mu\text{g g}^{-1}$	0,1306	0,0712	0,1622	0,1083	0,0229
LOD $\mu\text{g ml}^{-1}$	0,0098	0,0053	0,0122	0,0081	0,0017
LOD $\mu\text{g g}^{-1}$	0,0392	0,0214	0,0487	0,0325	0,0069
LOQ – määramispiir / limit of quantification; LOD – detekteerimispiir / limit of detection					

Tulemused

Antibiootikumide sisaldus määrati taimede söödavates osades: porgandi juurtes, kartuli mugulates ja nisu seemnetes. Analüüsid tehti ka mõnedest mitte-söödavatest taimeosadest: nisu ja porgandi lehtedest. Kontrollmullas kasvanud taimedes antibiootikumide jääke ei tuvastatud, neid proove kasutati metoodika valideerimiseks. Kokku analüüsiti 177 proovi kuivatatud ja jahvatatud taimeosadest, mis olid kasvanud erinevatel antibiootikumide kontsentratsioonidel erineva lõimisega muldades.

Mulla antibiootikumide kontsentratsiooni juures 10 mg kg⁻¹ akumulatsioonid antibiootikumid taimede söödavatesse osadesse kogustes, mis ületasid nende kehtestatud piirnõrmi loomses toormes – piimas ja lihas (EMA/MRL/026/95, 1995; EMA/MRL/820/02, 2002). Kõige suuremates kogustes jõudsid taimedesse sulfoonamiidid saviliivmullast. SMX kõrgeim sisaldus määrati kartuli mugulates ja porgandi juurtes, vastavalt 5150 ja 4910 µg kg⁻¹; SDM kõrgeim sisaldus oli vastavalt 1750 ja 660 µg kg⁻¹. MRL lubab SDM ja SMX summaarseks sisalduseks loomses toormes 100 µg kg⁻¹. Seega ületas sulfoonamiidide kõrgeim summaarne sisaldus taimedes lubatud piirnõrmi mitukümmend korda. Madalamatel mulla antibiootikumide kontsentratsioonidel 1 mg kg⁻¹ ja 0,5 mg kg⁻¹ kasvanud porgandi juurtes leiti sulfoonamiidide kõrgeim summaarne sisaldus samuti üle MRL või selle piiril.

Antibiootikumide kontsentratsioonil 10 mg kg⁻¹ kasvanud nisu seemnetes ei olnud võimalik antibiootikumide sisaldust määrata, sest nii kõrge kontsentratsioon mullas mõjus nisutaimedele letaalselt – taimed närbusid enne õitsemist. Ka sulfoonamiidide keskmine sisaldus katsetaimedes ulatus üle lubatud piirnõrmi ja seda isegi madalamate mullakontsentratsioonide 1 ja 0,5 mg kg⁻¹ juures (tabel 2). CIP keskmine sisaldus ületas MRL ainult kõige kõrgemal mulla antibiootikumide kontsentratsioonil kasvanud taimedes. Antibiootikumide keskmiste kontsentratsioonide standardhälve (SD) oli kõrgemate kontsentratsioonide juures kasvanud taimede puhul suur, mis on bioloogilistes süsteemides tavaline.

Tsiprofloksatsiini ei kasutata veterinaarmeditsiinis, see on ainult humaanmeditsiini ravim. Seepärast on loomses toormes kehtestatud piirnõrm tsiprofloksatsiini ja enrofloksatsiini (ENR) summaarsele sisaldusele, kuna CIP on ENR metaboliit looma organismis (EMA/MRL/820/02, 2002). Käesolevas töös ENR migratsiooni mullast taimedesse ei uuritud, seepärast arvestati ainult CIP sisaldusega. Norfloksatsiinile ja ofloksatsiinile ei ole MRL loomses toormes kehtestatud, sest ka neid loomade raviks ei kasutata. Kuna tegemist on fluorokinolonide rühma kuuluvate ainetega, võime nende sisaldust tinglikult võrrelda CIP ja ENR lubatud summaarse piirnõrmiga. Nii kõrgeimad kui keskmised NOR ja OFL sisaldused ületasid MRL kartuli mugulates ja saviliivmullas kasvanud porgandi juurtes.

Tabel 2. Keskmised antibiootikumide kontsentratsioonid katsetaimedes µg kg⁻¹
Table 2. The average contents of antimicrobials detected in edible parts of food plants µg kg⁻¹

AB	AB konts. mullas mg kg ⁻¹ Content of AB in soil mg kg ⁻¹	Porgandi juured Carrot roots		Kartuli mugulad Potato tubers		Nisu seemned Wheat seeds		MRL lihas ja piimas MRL for meat and milk, µg kg ⁻¹
		liivsavi- muld loamy soil	saviliiv- muld loamy sand soil	liivsavi- muld loamy soil	saviliiv- muld loamy sand soil	liivsavi- muld loamy soil	saviliiv- muld loamy sand soil	
CIP	10	–	473 ± 232	115 ± 78	140 ± 26	–	†	100
	1	–	40	7	3	–	–	
	0,5	–	40	–	23	13	–	
	0,1	–	–	23	2	–	–	
	0,01	–	–	–	1	–	–	
NOR	10	–	633 ± 309	145 ± 49	233 ± 31	–	†	–
	1	–	27	13	–	–	–	
	0,5	–	–	–	–	–	–	
	0,1	–	–	23	–	–	–	
	0,01	–	–	–	–	–	–	
OFL	10	30	820 ± 17	103 ± 6	147 ± 90	–	†	–
	1	–	127 ± 31	43	33	–	8	
	0,5	10	57	20	47	12	–	
	0,1	2	10	5	11	6	4	
	0,01	1	3	1	2	–	–	
SDM	10	67 ± 31	403 ± 223	173 ± 146	1477 ± 448	17	†	SDM +
	1	70 ± 53	17	43	37	–	–	
	0,5	13	3	–	3	12	–	
SMX	10	413 ± 65	3400 ± 1758	393 ± 214	3897 ± 1114	–	†	SMX = 100
	1	60 ± 42	207 ± 74	–	–	–	–	
	0,5	20	80	–	–	–	–	
	0,1	–	7	–	–	–	–	

AB – antibiootikum / antimicrobial, MRL – antibiootikumi sisalduse lubatud piirnõrm / maximum residue limit, † – nisutaimed hävisid enne õitsemist / the wheat plants wilted before flowering.

Antibiootikumid jõudsid taimesse isegi mulla kõige madalamal kontsentratsioonil 0,01 mg kg⁻¹ (CIP ja OFL). CIP, OFL ja SDM tuvastati ka nisu seemnetest, Võrreldes antibiootikumide kontsentratsiooni porgandi

juurtes ja lehtedes, selgus, et juurtes oli antibiootikumide sisaldus suurem (tabel 3) kuid nende sisaldused jäid alla MRL. Reeglina olid antibiootikumide sisaldused suuremad taimede maa-alustes osades.

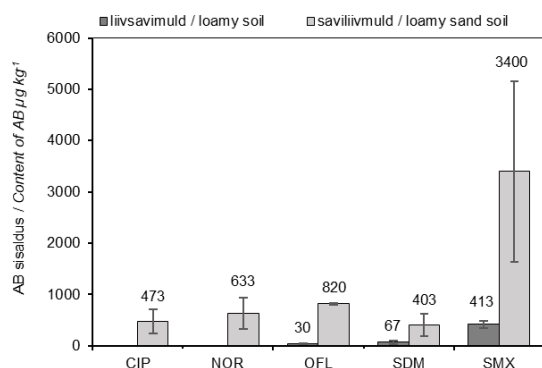
Table 3. Keskmised antibiootikumide sisaldused saviliivmullas kasvanud porgandi juurtes ja lehtedes
Table 3. Average contents of antimicrobials in carrot leaves and roots grown in loamy sand soil

	AB konts. mullas Content of AB in soil $\mu\text{g kg}^{-1}$	AB sisaldus porgandis / Content of AB in carrot, $\mu\text{g kg}^{-1}$				
		CIP	NOR	OFL	SDM	SMX
Lehed Leaves	10	557 (*1040)	380 (*590)	467 (*910)	140 (*150)	163 (*180)
	1	–	–	33	10	–
	0,5	–	–	20	–	–
	0,1	–	–	1	–	–
	0,01	–	–	–	–	–
Juured Roots	10	473 (*740)	633 (*990)	820 (*830)	403 (*660)	3400 (*4910)
	1	40	27	127	16	206
	0,5	40	–	57	3	80
	0,1	–	–	10	–	7
	0,01	–	–	3	–	–

AB – antibiootikum / antimicrobial; * AB maksimaalsed sisaldused / * AB maximum contents.

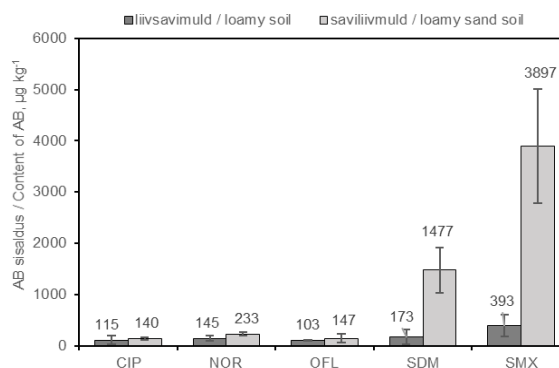
Antibiootikumide kontsentratsioon saviliivmullas kasvanud taimedes oli enamasti suurem, kui liiv-savimullas kasvanud taimedes. Saviliivmullas antibiootikumide kontsentratsioonil 10 mg kg⁻¹ kasvanud kartuli mugulad ja porgandi juured sisaldasid antibiootikume sadu või tuhandeid mikrogramme ühe

kilogrammi kohta. Sama antibiootikumide kontsentratsiooniga liiv-savimullast jõudsid antibiootikumid taimedesse oluliselt vähem või jäid alla detekteerimispiiri (joonised 2, 3).



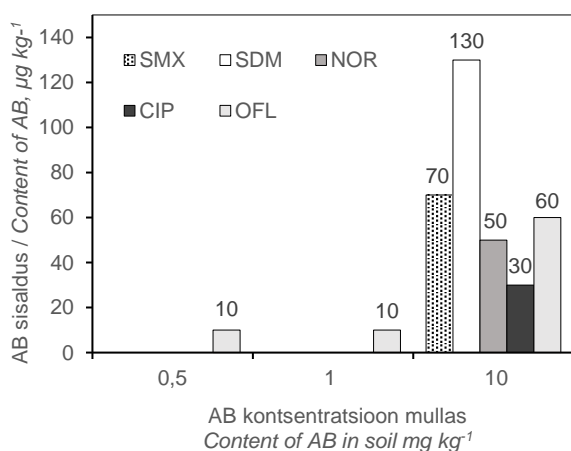
Joonis 2. Antibiootikumide (AB) keskmine sisaldus erineva lõimisega muldades kasvanud porgandi juurtes mulla antibiootikumide kontsentratsiooni 10 mg kg⁻¹ juures. Veajooned näitavad standardhälvet

Figure 2. Average contents of antimicrobials (AB) in carrot roots grown in different soils at drug concentration of 10 mg kg⁻¹. Error bars show standard deviations



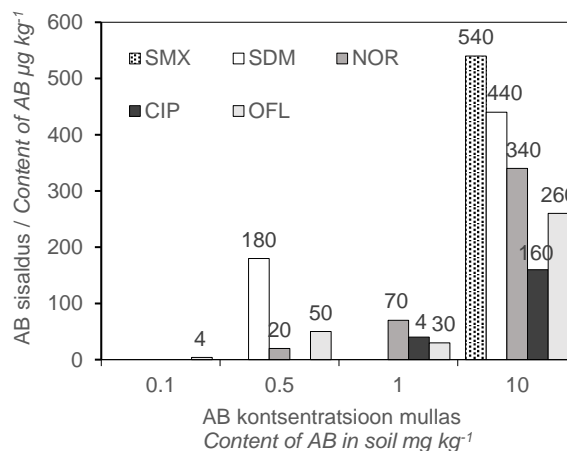
Joonis 3. Antibiootikumide (AB) keskmine sisaldus erineva lõimisega muldades kasvanud kartulimugulates mulla antibiootikumide kontsentratsiooni 10 mg kg⁻¹ juures. Veajooned näitavad standardhälvet

Figure 3. Average contents of antimicrobials (AB) in potato tubers grown in different soils at drug concentration of 10 mg kg⁻¹. Error bars show standard deviations



Joonis 4. Antibiootikumide (AB) kõrgeimad sisaldused liiv-savimullas kasvanud nisu lehtedes

Figure 4. The highest contents of antimicrobials (AB) in wheat leaves grown in loamy soil



Joonis 5. Antibiootikumide (AB) kõrgeimad sisaldused saviliivmullas kasvanud nisu lehtedes

Figure 5. The highest contents of antimicrobials (AB) in wheat leaves grown in loamy sand soil

Nisu lehtede analüüsid näitasid, et antibiootikumide sisaldus saviliivmullas kasvanud taimedes oli suurem, kui liivsavimullas kasvanud taimedes (joonised 4, 5). Saviliivmullas kasvanud nisu närtsinud lehtedes (antibiootikumide kontsentratsioon mullas 10 mg kg^{-1}) tuvastati eriti kõrged antibiootikumide sisaldused. Suurim sulfoonamiidide sisaldus oli $540 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (SMX) ja $440 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (SDM) (joonis 5). Liivsavimullas kasvanud nisu lehtedes olid nende kontsentratsioonid madalamad, kuid siiski märkimisväärsed: $70 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (SMX) ja $130 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (SDM) (joonis 4). Vähesel määral akumulerus OFL nisu lehtedesse liivsavimullast ka madalamatel mulla antibiootikumide kontsentratsioonidel $0,5$ ja 1 mg kg^{-1} (joonis 4). Saviliivmullas antibiootikumide kontsentratsioonil 1 mg kg^{-1} kasvanud nisu lehtedes leiti kõiki fluorokinoloonide, kuid nende sisaldus jäi alla loomsele toormele lubatud piirnормi. Madalamate saviliivmulla antibiootikumide kontsentratsioonide juures $0,1$ ja $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ jõudsid taimedesse OFL, NOR ja olulises MRL ületavas koguses SDM: $180 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (joonis 5).

Arutelu

Töö tulemustest nähtub, et kõik katses uuritud antibiootikumid jõuavad taimede söödavatesse osadesse, kusjuures antibiootikumide sisaldus taimes oleneb nende kontsentratsioonist mullas, aine keemilistest omadustest, mulla lõimisest, taime liigist ja taime osast. Antibiootikumide akumulatsioon mullast toidutaimedesse on keeruline protsess, mida juhib mulla ja taimede vaheline interaktsioon (Wang jt, 2016). See sõltub nii mulla omadustest (Pullagurala jt, 2018) kui ka ravimi stabiilsusest ja liikuvusest mullas (Berendsen jt, 2018; Gworek jt, 2021). Taimede maa-alused osad on esimesed, kuhu antibiootikumid mullast jõuavad, seetõttu on nende kõrgem sisaldus juurtes ja mugulates ootuspärane. Samale tulemusele jõudsid ka Wang jt (2016), võrreldes NOR ja SMX akumulatsioonide ulatust redise ja hiina lehtkapsa söödavates osades: redises oli mõlema antibiootikumi kontsentratsioon kõrgem. Kas lehtedesse jõuab antibiootikume tõepoolest vähem, kui maa-alustesse osadesse või toimub lehtedes valguse mõjul fluorokinoloonide fotodegradatsioon (Hooper, Wolfson, 1991), ei ole antud töö põhjal võimalik öelda. Lehtedes toimuvate metabolismi protsesside tõttu on võimalik uuritud ainete muundumine nende metaboliitideks (Lillenberg jt, 2003), mille sisaldust taimes ei uuritud, kuid mis võivad samuti omada antibakteriaalset toimet.

Saviliivmullast omastasid taimed antibiootikume reeglina suuremates kogustes kui liivsavimullast. Saviliivmullas antibiootikumide kontsentratsioonil 10 mg kg^{-1} kasvanud porgand ja kartul omastasid kõiki antibiootikume üle loomsele toormele lubatud MRL, kartul ka sama kontsentratsiooniga liivsavimullast. Madalamatelt kontsentratsioonidelt jõudsid antibiootikumid taimedesse enamasti alla lubatud MRL, välja arvatud OFL ja SMX porgandi juurtes. Nisu seemnetes olid kõik määratud antibiootikumide sisaldused alla lubatud piirnормi, NOR ja SMX sisaldus jäi alla detekteerimispiiri. Kõige

madalamad, alla uuritava aine määramispiiri jäävad kontsentratsioonid taimedes ei pruugi olla arvuliselt täpsed, kuid aine sisaldus taimes on ilmne.

Erinevate antibiootikumide fütotoksilisus oleneb taime liigist. Suuremates kogustes antibiootikume omastanud nisu lehtedes tekkis kloroos, saviliivmullas kasvanud taimed hakkasid närbuma 30-ndal päeval ja katse lõpuks hävisid. Kloroosi teket on seostatud CIP akumulatsiooniga lehtedes (Lillenberg, 2003). Kuna sulfoonamiidide adsorptsioon mulla saviosakeste külge ei ole märkimisväärne (Avisar jt, 2010), siis saavad need kergemini migreeruda taimedesse. Seetõttu sulfoonamiidide sisaldus taimedes oli ka reeglina suurem kui fluorokinoloonide sisaldus. Saviliivmullast akumulatsioonid nisu lehtedesse sellistes kogustes, mis hävitasid taimed. Teraviljadele eriti toksilist SMX (Brambilla jt, 1996; Migliore jt, 1996) leiti saviliivmullas kasvanud nisu lehtedest kõige rohkem.

Fluorokinoloonidel on omadus adsorbeeruda mulla saviosakeste külge (Carmosini, Lee, 2008), seetõttu võib nende kontsentratsioon katsemullas olla ebaühtlane ja akumulatsioon taimedesse võib sõltuda mõnevõrra ka juurte paiknemisest mullas. See võib olla põhjuseks, miks mõnel juhul nende kontsentratsioonid taimedes ei vähene korrelatsioonis kontsentratsioonide langusega mullas. Fluorokinoloonide kergem omastamine saviliivmullast on loogiline, sest nende desorptsioon toimub saviosakeste küljest raskemini (Nowara jt, 1997). Kõige madalam mulla antibiootikumide kontsentratsioon, mille juures toimus antibiootikumide migreerumine taimede söödavatesse osadesse, oli $10 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$. Kartuli mugulates ja porgandi juurtes oli võimalik tuvastada OFL, kuid CIP leiti ainult kartuli mugulatest. Niisugune mulla antibiootikumide sisaldus on täiesti võimalik, kui põllumajandusmaad väetatakse korduvalt sõnnikuga või reoveesete kompostiga, milles leidub antibiootikumide jääke. Fluorokinoloonid võivad mullas säilida väga kaua: üle aasta (Golet jt, 2002) ja isegi üle kahe aasta (Walters jt, 2010). Olenevalt mulla antibiootikumide sisaldusest, mulla lõimisest ja kasvatatavast kultuurist jõuavad antibiootikumid pikema kasvuperioodi jooksul akumulatsioon taimedesse. Seni on uuritud antibiootikumide sisaldused taimedes olnud madalad ja seega oht inimeste tervisele minimaalne. Sellegipoolest võib erinevate antibiootikumide segu taimtoitus kujutada endast potentsiaalset ohtu ja seetõttu oleks vaja seda valdkonda täiendavalt uurida (Prosser, Sibley, 2015).

Toiduga üliväikestes kogustes antibiootikumide omastamine ei kujuta endast küll otsest terviseriski, kuid võib põhjustada inimese ja looma organismis resistentsete bakteritüvede arenemise, seda ka juhul, kui antibiootikumi sisaldus taimes jääb alla loomsele toormele kehtestatud piirnормi. Viimane tuleneb ADI arvust (*acceptable daily intake* – päevane lubatud doos). ADI on päevas tarbida lubatud saasteaine kogus inimese kehakaalu 1 kg kohta kogu eluaja jooksul, ilma tervist kahjustamata (EMEA/MRL/820/02, 2002). Eristatakse toksikoloogilist ADI_{tox} – aine ohutut doosi vältimaks kahjulikke kõrvaltoimeid organismile ja

mikrobioloogilist ADI_{mic} – aine ohutut doosi organismi normaalsele mikrofloorale, kusjuures viimane on oluliselt väiksem (EMA/MRL/389/98, 1998). Mitmesuguste antibiootikumide jääke sisaldavate toitude üheaegsel söömisel (näiteks liha, kartul, piim, lehtsalat, porgand jms.) võib toimuda ADI_{mic} ületamine.

Järeldused

Antibiootikume kasutatakse maailmas üha suurenevates kogustes, seetõttu kasvab ka mure antibiootikumide esinemise, säilimise ja toksilisuse pärast mullas, kuna see võib avaldada kahjulikku mõju mullaorganismidele, põllukultuuride saagikusele ja toodangu kvaliteedile. Sõnniku ja roovesette komposti kasutamine väetisena võib põhjustada taimede saastumist antibiootikumidega. Käesoleva töö tulemused näitavad, et fluorokinoloonid ja sulfoonamiidid akumuluvad mullast pika kasvuperioodiga taimedesse nagu kartul ja porgand märkimisväärses kogustes võrreldes nende kontsentratsioonidega mullas. Seepärast oleks vaja senisest suuremat tähelepanu pöörata toiduohutuse tagamisele taimses toidus. Et välistada taimede kokkupuude ravimitega, tuleb tagada, et need oleksid piisavalt lagunevad enne sõnniku või roovesette komposti laotamist põllumaale. Edaspidistes töodes tuleks uurida mitmesuguste ravimite ja muude orgaaniliste saasteainete omastamist erinevate põllukultuuride poolt, samuti ravimite sorptsiooni kineetikat mulla-juure piirpinnal.

Tänuavaldused

Avaldame tänu EMÜ Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi mullateaduse õppetooli teadurile Tõnu Tõnutarele vajalike nõuannete eest. Uuringuid finantseerisid Eesti Keskkonnainvesteeringute Keskus ja Eesti Teadusagentuur (grant nr. 7127, sihtfinantseerimise projekt SF 0180058s07).

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist. *The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.*

Autorite panused / Authors contributions

A. ML – katse kontseptsioon ja planeerimine / *study conception and design*

AA – muldade analüüsid / *soil analyses*

AT – antibiootikumide lahuste valmistamine / *preparation of antibiotic solutions*

ML – katsemuldade ettevalmistamine / *preparation of test soils*

ML – taimekasvatuse / *plant growing*

ML, DA – taimeproovide ettevalmistamine / *preparation of plant samples*

KH, KK – kromatograafilised analüüsid ja meetodi valideerimine / *chromatographic analyzes and validation of the method*

ML – katsetulemuste analüüs / *data analysis*

B. ML – käsikirja kirjutamine / *drafting of manuscript*

C. LN – käsikirja toimetamine ja lõplik heaks kiitmine / *critical revision and approval the final version of manuscript*

Kasutatud kirjandus

- van Asselt, E.D., Arrizabalaga-Larrañaga, A., Focker, M., Berendsen, B.J.A., van de Schans, M.G.M., van der Fels-Klerx, H.J. 2022. Chemical food safety hazards in circular food systems: a review. – *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–13. DOI: 10.1080/10408398.2022.2078784
- Avisar, D., Primor, O., Gozlan, I., Mamane, H. 2010. Sorption of sulfonamides and tetracyclines to montmorillonite clay. – *Water, Air, and Soil Pollution*, 209(1):439–450. DOI: 10.1007/s11270-009-0212-8
- Berendsen, B.J.A., Lahr, J., Nibbeling, C., Jansen, L.J.M., Bongers, I.E.A., Wipfler, E.L., van de Schans, M.G.M. 2018. The persistence of a broad range of antibiotics during calve, pig and broiler manure storage. – *Chemosphere*, 204:267–276. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.042
- Bhatt, S., Chatterjee, S. 2022. Fluoroquinolone antibiotics: Occurrence, mode of action, resistance, environmental detection, and remediation – A comprehensive review. – *Environmental Pollution*, 315(120440):1–14. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120440
- Boxall, A.B.A., Johnson, P., Smith, E.J., Sinclair, C.J., Stutt, E., Levy, L.S. 2006. Uptake of veterinary medicines from soil into plants. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(6):2288–2297. DOI: 10.1021/jf053041t
- Brambilla, G., Casoria, P., Civitareale, C., Cozzolino, S., Gaudio, L., Migliore, L. 1996. Sulphadimethoxine as environmental tracer to evaluate phytotoxicity in crop. – In *Proceedings of Conference on Residues of Veterinary Drugs in Food*. Veldhoven. Netherlands. May 6–8. Haagsma, N., Ruiter, A. (Eds). Univ. Fac. of Veterinary Med.: Veldhoven. Netherlands, 292–295.
- Carmosini, N., Lee, L.S. 2008. Sorption and degradation of selected pharmaceuticals in soil and manure. – In *Fate of pharmaceuticals in the environment and in water treatment systems*. Aga, D.S. (Ed.). CRC Press: Boca Raton, USA, 139–165.
- Dolliver, H., Kumar, K., Gupta, S.C. 2007. Sulfamethazine uptake by plants from manure-amended soil. – *Journal of Environmental Quality*, 36(4):1224–1230. DOI: 10.2134/jeq2006.0266
- EMA/EPMARs. 1995. European Medicines Agency [Internet]. Veterinary regulatory. Maximum residue limit assessment reports. http://www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/medicines/landing/vet_mr1_search.jsp&murl=menus/medicines/medicines.jsp&mid=WC0b01ac058008d7ad Viimati külastatud 12.10.2022.
- EMA/MRL/026/95. 1995. Committee for Veterinary Medicinal Products [Internet]. Sulphonamides (2). Summary report. https://www.ema.europa.eu/en/documents/mrl-report/sulfonamides-summary-report-2-committee-veterinary-medicinal-products_en.pdf Viimati külastatud 12.10.2022.
- EMA/MRL/389/98. 1998. Committee for Veterinary Medicinal Products [Internet]. Committee for

- Veterinary Medicinal Products. Enrofloxacin (extension to sheep, rabbits and lactating cows). Summary report 3. https://www.ema.europa.eu/en/documents/mrl-report/enrofloxacin-extension-sheep-rabbits-lactating-cows-summary-report-3-committee-veterinary-medicinal_en.pdf Viimati külastatud 01.11.2022.
- EMA/MRL/820/02. 2002. Committee for Veterinary Medicinal Products [Internet]. Enrofloxacin (extension to all food producing species). Summary report (5). https://www.ema.europa.eu/en/documents/mrl-report/enrofloxacin-extension-all-food-producing-species-summary-report-5-committee-veterinary-medicinal_en.pdf Viimati külastatud 12.10.2022.
- Golet, E.M., Strehler, A., Alder, A.C., Giger, W. 2002. Determination of fluoroquinolone antibacterial agents in sewage sludge and sludge-treated soil using accelerated solvent extraction followed by solid-phase extraction. – *Analytical Chemistry*, 74:5455–5462. DOI: 10.1021/ac025762m
- Gworek, B., Kijeńska, M., Wrzosek, J., Graniewska, M. 2021. Pharmaceuticals in the soil and plant environment: A review. – *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(145):1–17. DOI: 10.1007/s11270-020-04954-8
- Hooper, D.C., Wolfson, J.S. 1991. Fluoroquinolone antimicrobial agents. – *The New England Journal of Medicine*, 324 (6): 384–394. DOI: 10.1056/NEJM199102073240606
- Haiba, E., Nei, L., Herodes, K., Ivask, M., Lillenberg, M. 2018. On the degradation of metformin and carbamazepine residues in sewage sludge compost. – *Agronomy Research*, 16(3):696–707. DOI: 10.15159/AR.18.123
- Jjemba, P.K. 2002. The potential impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1–3):267–278. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00350-4
- Lillenberg, M. 2003. Mikrobioloogiline meetod fluorokinoloonide määramiseks mullas ja toidutaimedes. Kromatograafiline võrdlusanalüüs HPLC meetodil. – *Magistritöö (MSc toiduteadus)*. Eesti Põllumajandusülikool, Tartu, Eesti, 17.10.2003, 76 lk.
- Lillenberg, M., Roasto, M., Püssa, T. 2003. Ravimijäägid keskkonnas: fluorokinoloonide määramine mullas ja toidutaimedes. – *Agraarteadus*, 14(1):13–26.
- Lillenberg, M., Yurchenko, S., Kipper, K., Herodes, K., Pihl, V., Sepp, K., Löhmus, R., Nei, L. 2009. Simultaneous determination of fluoroquinolones, sulfonamides and tetracyclines in sewage sludge by pressurized liquid extraction and liquid chromatography electrospray ionization-mass spectrometry. – *Journal of Chromatography A*, 1216(32): 5949–5954. DOI: 10.1016/j.chroma.2009.06.029
- Matamoros, V., Casas, M.E., Pastor, E., Tadic, Đ., Canameras, N., Carazo, N., Bayona, J.M. 2022. Effects of tetracycline, sulfonamide, fluoroquinolone, and lincosamide load in pig slurry on lettuce: Agricultural and human health implications. – *Environmental Research*, 215(1):114237. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114237
- Migliore, L., Brambilla, G., Casoria, P., Civitareale, C., Cozzolino, S., Gaudio, L. 1996. Effect of sulphadimethoxine contamination on barley (*Hordeum distichum* L, Poaceae, Liliopsida). – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 60(2–3):121–128. DOI: 10.1016/S0167-8809(96)01090-0
- Migliore, L., Brambilla, G., Cozzolino, S., Gaudio, L. 1995. Effects on plants of sulphadimethoxine used in intensive farming (*Panicum miliaceum*, *Pisum sativum*, and *Zea Mays*). *Agriculture Ecosystems and Environment*, – 52(23):103–110. DOI: 10.1016/0167-8809(94)00549-T
- Migliore, L., Cozzolino, S., Fiori, M. 2003. Phytotoxicity to and uptake of enrofloxacin in crop plants. – *Chemosphere*, 52(7):1233–1244. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00272-8
- Montforts, M.H.M.M. 2005. The trigger values in the environmental risk assessment for (veterinary) medicines in the European Union: a critical appraisal. Report No. 601500002/2005. Performed by Expert Centre of Substances of the RIVM, 21–37. <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/7379/601500002.pdf>
- Nei, L., Kruusma, J., Ivask, M., Kuu, A. 2009. Novel approaches to bioindication of heavy metals in soils contaminated by oil shale wastes. – *Oil Shale*, 26(3):424–431. DOI: 10.3176/oil.2009.3.07
- Nei, L., Haiba, E., Lillenberg, M. 2020. Mini-review: Pharmaceuticals in sewage sludge and their degradation during composting – recent studies in Estonia. – *Agraarteadus*, 31(1):47–52. DOI: 10.15159/jas.20.02
- Nowara, A., Burhenne, J., Spiteller, M. 1997. Binding of fluoroquinolone carboxylic acid derivatives to clay minerals. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4):1459–1463. DOI: 10.1021/JF960215L
- Parente, C.E.T., Brito, E.M.S., Azeredo, A., Meire, R.O., Malm, O. 2019. Fluoroquinolone Antibiotics and their Interactions in Agricultural Soils. – *Orbital – The Electronic Journal of Chemistry*, 11(1):42–52. DOI: 10.17807/orbital.v11i1.1352
- Prosser, R.S., Sibley, P.K. 2015. Human health risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in plant tissue due to biosolids and manure amendments, and wastewater irrigation. – *Environment International*, 75:223–233. DOI: 10.1016/j.envint.2014.11.020.
- Pullagurala, V.L.R., Rawat, S., Adisa, I.O., Hernandez-Viezas, J.A., Peralta-Videa, J.R., Gardea-Torresdey, J.L. 2018. Plant uptake and translocation of contaminants of emerging concern in soil: a review. – *Science of the Total Environment*, 636:1585–1596. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.375

- Shi, H., Bai, C., Luo, D., Wang, W., Zhou, C., Meharg, A.A., Yao, L. 2019. Degradation of tetracyclines in manure-amended soil and their uptake by litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). – *Environmental Science and Pollution Research*, 26:6209–6215. DOI: 10.1007/s11356-018-04077-y
- Thiele-Bruhn, S. 2003. Pharmaceutical antibiotic compounds in soils – a review. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(2):145–167. DOI: 10.1002/jpln.200390023
- Walters, E., McClellan, K., Halden, R.U. 2010. Occurrence and loss over three years of 72 pharmaceuticals and personal care products from biosolids-soil mixtures in outdoor mesocosms. – *Water Research*, 44(20):6011–6020. DOI: 10.1016/j.watres.2010.07.051
- Wang, J., Lin, H., Sun, W., Xia, Y., Ma, J., Fu, J., Zhang, Z., Wu, H., Qian, M. 2016. Variations in the fate and biological effects of sulfamethoxazole, norfloxacin and doxycycline in different vegetable–soil systems following manure application. – *Journal of Hazardous Materials*, 304:49–57. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.10.038

Accumulation of sulfonamides and fluoroquinolones from soil to plants

Merike Lillenberg¹, Karin Kipper², Koit Herodes², Alar Astover³, Avo Toomsoo³, Dea Anton¹, Lembit Nei⁴

¹*Estonian University of Life Sciences, Institute of Veterinary Medicine and Animal Science, Chair of Veterinary Biomedicine and Food Hygiene, Fr. R. Kreutzwaldi 56/3, 51014 Tartu, Estonia*

²*Tartu University, Department of Chemistry, Ravila 14a, 50411 Tartu, Estonia*

³*Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Soil Science, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia*

⁴*Tallinn University of Technology, Tartu College, Puistestee 78, 51008 Tartu, Estonia*

Summary

As antibiotics are used in escalating quantities, there is a growing concern over the presence, toxicity, and fate of antibiotics in soil that may pose adverse effects on soil biology, crop yield, and quality of production. The application of manure and sewage sludge compost as a fertilizer and the following uptake of pharmaceuticals by food plants may cause contamination of these plants. The results of the current work show, that the uptake of FQs and especially SAs by plants like potato and carrot is obvious. Detected levels of the studied pharmaceuticals were of considerable magnitude, if compared to their soil concentrations. Consumption of small amounts of antibiotics with plant foods can lead to the development of resistant bacterial strains in human and animal organisms, even if the amount of antibiotics in the plant is below the MRL established for food of animal origin. The safest way to exclude exposing plants to pharmaceuticals is to ensure that these substances are adequately degraded before manure or sewage sludge compost is applied onto arable land. Based on this pilot study one can conclude, that further large-scale work should be conducted to determine the uptake of different types of pharmaceuticals and other organic pollutants by various crop plants, and sorption kinetics at the soil-root interface has to be studied.



UMBROHTUDE BIOMASSI, ARVUKUSE JA MITMEKESISUSE MUUTUSED PIKAAJALISE KÜLVIKORRA KATSE TEISES ROTATSIOONIS

CHANGES IN WEED BIOMASS, DENSITY AND DIVERSITY IN LONG-TERM CROP ROTATION EXPERIMENT DURING SECOND ROTATION

Helena Madsen, Anne Luik, Viacheslav Eremeev, Erkki Mäeorg, Liina Talgre

Eesti Maailikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu

Saabunud:
Received: 27.01.2023

Aktsepteeritud:
Accepted: 24.06.2023

Avaldatud veebis:
Published online: 15.08.2023

Vastutav autor:
Corresponding author: Helena Madsen

E-mail: helena.madsen@emu.ee

ORCID:

0000-0003-4988-0208 (HM)
0000-0002-2830-9574 (AL)
0000-0003-3409-8918 (VE)
0000-0002-0293-8647 (EM)
0000-0003-0949-6973 (LT)

Keywords: Shannon-Wiener diversity index, winter cover crops, organic farming, weed control, crop rotation.

DOI: 10.15159/jas.23.05

ABSTRACT. The effects of long term (established in 2008) five-field crop rotation (barley (*Hordeum vulgare* L.) with undersown red clover (*Trifolium pratense* L.), red clover, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), pea (*Pisum sativum* L.), potato (*Solanum tuberosum* L.)) on the biomass, abundance and diversity (Shannon-Wiener index) of weeds in three organic (Org) and two conventional (Conv) systems after the second rotation were investigated. The results include data from the second rotation in 2013 – 2017. The control system (Org 0) followed only the crop rotation. In the organic systems Org I and Org II winter cover crops were used. In Org II system composted cattle manure was also applied. The conventional cropping systems were treated with herbicides and fungicides and system Conv 0 acted as control (no fertilizer use). Mineral fertilizer was used in Conv II. In general, the significant differences were evident between conventional and organic cropping systems. There were also some differences depending on the crop. The weed biomass was the lowest in barley and potato plots, with significantly higher values in organic than in conventional systems. In clover plots the highest biomass of weeds occurred in Conv II whilst the lowest in Org I. In winter wheat plots the biomass of weeds was significantly lower in conventional systems than in any of the organic systems. Pea plots had the highest biomass, abundance and diversity of weeds in all systems within all rotational crops. Slight tendencies showed the decrease of weed abundance and diversity at the end of the rotation in systems with cover crops (Org I and Org II). This could be explained by better growing conditions due to higher microbial activity and organic carbon content in the soil of organic systems.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Umbrohud on põllukoosluste loomulik osa, ent konkurents põhikultuuridega vee ja toitainete pärast võib oluliselt mõjutada saagi kujunemist. Samas on umbrohtudel ka mitmeid positiivseid omadusi: väheneb erosioon ning muld rikastub orgaanilise ainega. Rohke orgaanilise aine lisandumine mulda parandab mulla omadusi ja suurendab mullaelustiku mitmekesisust. Lisaks tagavad umbrohud toidubaasi paljudele õitel toituvatele tolmeldajatele ja taimtoiduliste putukate arvukust reguleerivatele kasuritele. Umbrohuseemnetel on tähtis osa lindude ning maapinnal liikuvate röövtoiduliste organismide toidulaua (Marshall jt, 2003; Eraud

jt, 2015; Rollin jt, 2016). Seega on keskkonna ökoloogiliste talitluste tagamiseks umbrohtude säilimine vajalik, kuid piisava saagikuse saamine toob esile ka vajaduse nende piiramiseks. Kasutatavad meetodid umbrohtumuse reguleerimiseks sõltuvad taimekasvatuse viisist. Intensiivne herbitsiididel põhinev põllumajandus toodab küll suuri saake, kuid selle kõrvaltoimeteks on ulatuslikud keskkonnaprobleemid (Mäder jt, 2002). Monokultuuride kasvatamine suurteil maaladel ning liigne pestitsiidide kasutamine mõjutavad eelkõige bioloogilist mitmekesisust ja seeläbi ka mullaviljakust. Mullaviljakus on peamine saagikust mõjutav komponent (Trewavas, 2001; Hole jt, 2005; Azadi jt, 2011). Mitmed uurimused (Weil, 1982; Afandi jt, 2002;



Blavet jt, 2009; García-Orenes jt, 2009; Arnhold jt, 2014) on näidanud, et herbitsiidide kasutamine suurendab erosiooni. Samas umbrohud seovad juurestikuga vett ja kaitsevad oma olemasoluga mulla pinda (Arnhold jt, 2014). Umbrohud võivad herbitsiidide pideva kasutamisega muutuda nende suhtes resistentseteks, mis omakorda võib suurendada vajadust täiendavate taimekaitsevahendite järele ning põhjustada keskkonna saastatust (Rotches-Ribalta jt, 2017). Kuigi herbitsiidide kasutamist peetakse kõige efektiivsemaks meetodiks vabanemaks umbrohtudest ning vähendamaks umbrohtude seemnepanka mullas (Bärberi jt, 1998; Rotches-Ribalta jt, 2017), mõjutab see kooslustes liikidevahelist tasakaalu (Rotches-Ribalta jt, 2017), vähendades herbitsiididele tundlike liikide mitmekesisust (Bärberi jt, 1998; Squire jt, 2000; Robinson, Sutherland, 2002; Hawes jt, 2010; Ryan jt, 2010; José-María, Sans, 2011; Rotches-Ribalta jt, 2017) ning soodustades resistentsete liikide teket.

Maheviljelust iseloomustab kohalike taastuvate ressursside tasakaalustatud kasutamine, mis muuhulgas aitab mitmekesistada põllukooslusi. Selle viljelusviisi eeldus on optimaalse tasakaalu leidmine põhikultuuri ja umbrohtude vahel. Maheviljeluses on sellise tasakaalu saavutamine palju keerulisem, kuna ei kasutata sünteesilisi herbitsiidide (Bond, Grundy, 2001). Siiski on ka mahetootmises mitmeid võimalusi umbrohtude kontrolli all hoidmiseks nagu nt künd, vahekultuuride kasvatamine ja mitmekesine külvikord. Samas on leitud, et sügav künd võib rikkuda mullaagregaatide struktuuri (Colquhoun, Bellinder, 1996; Bond, Grundy, 2001) ning kahjustada mulla makro- ja mikroelustikku (Carcamo jt, 1995; Kromp, 1999; Hole jt, 2005). Vahekultuure kasvatatakse põhikultuuride vahelisel ajal, ennetamaks toitainete leostumist ja mullaerosiooni (Liebman, Davis, 2000; Bond, Grundy, 2001). Kiire kasvuga vahekultuurid takistavad umbrohtude kasvu nii otsese konkurentsi kui allelopaatiliste ainete eritamise läbi (Bond, Grundy, 2001; Madsen jt, 2016). Umbrohtumus sõltub oluliselt ka külvikorrast, kuivõrd selle kultuurid erinevad nii survetõrje kui ka kasutatava agrotehnika poolest. Varasemad uuringud (Butkevičiene jt, 2021) on näidanud, et pikaajalistes tavaviljeluse külvikordades on ilmnenud muutused aja jooksul nii umbrohtude liigilises koosseisus kui ka arvukuses. Toimunud muutusi on võimalik kindlaks teha vaid konkreetsetes oludes erinevates kasvatussüsteemides külvikordi uurides, leidmaks optimaalseid lahendusi umbrohtude reguleerimiseks.

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada umbrohtude biomass, arvukus ja mitmekesisus viieväljalise külvikorra kultuurides teises rotatsioonis sõltuvalt kolmest maheviljeluse ning kahest tavaviljeluse süsteemist. Kahes maheviljelussüsteemis mitmekesistati külvikorda talviste vahekultuuridega, mille eesmärk oli kaasa aidata umbrohtumuse reguleerimisele. Tavaviljelussüsteemides kasutati herbitsiidide. Töö hüpotees oli, et sõltuvalt kultuurist ning kasvatussüsteemist on võrreldes esimese rotatsiooniga umbrohtude biomass, arvukus ja mitmekesisus suurenenud.

Materjal ja meetodika

Viieväljaline põldkatse viidi läbi Eesti Maaülikooli katsepõldudel, mis paiknesid Tartu lähedal (58°23'N, 26°44'E). Katse rajati 2008. aastal, kuid antud artiklis on vaatluse all umbrohtude biomassi ning arvukuse teise rotatsiooni aegsed (2013–2017. a) andmed. Katsepõllu mullatüüp oli pruun kahkjass (näivleetonud) liivsavimuld. Põldude umbrohtumust uuriti viieväljalises külvikorras kolmes erinevas maheviljelussüsteemis (Mahe 0, Mahe I ja Mahe II) ning kahes tavaviljelussüsteemis (Tava 0 ja Tava II). Kõikide süsteemide külvikorra kultuuride järjestus terve rotatsiooni jooksul oli järgmine: oder (*Hordeum vulgare* L.) 'Anni' punase ristiku (*Trifolium pratense* L.) 'Varte' allakülviga – punane ristik – talinisu (*Triticum aestivum* L.) 'Fredis' – hernes (*Pisum sativum* L.) 'Tudor' – kartul (*Solanum tuberosum* L.) 'Teele'. Mahesüsteemides Mahe I ning Mahe II külvati kohe pärast põhikultuuri koristamist järgmised vahekultuurid: talinisu järgselt (herne eelselt) talirapsi (*Brassica rapa* L. var. *oleifera*) ja talirukki (*Secale cereale* L.) segu, herne järgi (kartuli eelselt) taliraps ja kartuli järgi (odra eelselt) talirukis. Mahesüsteemidest Mahe 0 oli kontrollsüsteem, mis järgis vaid külvikorda ning peale põhikultuuri koristust sellel katse osal sügisel mullaharimist ei toimunud. Mahesüsteemis Mahe II kasutati peale vahekultuuride ka kompostitud veisesõnnikut – kartulile 20 t ha⁻¹ ja teraviljadele (talinisu ja oder) 10 t ha⁻¹. Sõnnik laotati kevadel vahetult enne vahekultuuride mulda kündi aprilli lõpus. Talvel olid kõik Mahe I ja Mahe II väljad taimikuga kaetud. Mahe 0 süsteemis jäid kolm välja talvel taimikuta. Külvikorras olev ristik niideti kahel korral suve jooksul, misjärel künti enne talinisu külvamist sisse. Tavaviljelusega süsteemides Tava 0 ja Tava II oli mahedaga sama külvikord, kuid mõlemas süsteemis kasutati keemilisi taimekaitsevahendeid ja Tava II süsteemis ka mineraalväetisi. Umbrohtude tõrjeks kasutati talinisul kevadel (mai algul) herbitsiidi Secator OD normiga 150 ml ha⁻¹; kartulil Titus, 50 g ha⁻¹ (2 × 0,25 g korraga); hernel MCPA 750, 1 l ha⁻¹; ristiku allakülviga odral MCPA 750, 1 l ha⁻¹. Ristikus herbitsiidi ei kasutatud. Kartuli umbrohtõrje tehti umbrohtude tärkamisel ja teist korda nädala möödudes; odral ja hernel, siis kui umbrohtudel oli valdavalt 2–3 pärislehte ja hernel 4–5 lehte, teravili oli sel ajal võrsumisfaasis. Tavasüsteemides ei kasutatud talviseid vahekultuure. Tavasüsteemis Tava 0 ei kasutatud mineraalväetisi; Tava II süsteemis kasutati põhiväetisena mineraalväetisi 25 kg P ha⁻¹ ja 95 kg K ha⁻¹ ning lisaks lämmastikväetist olenevalt kultuurist: talinisule ja kartulile 150 kg ha⁻¹ N, odrale ristiku allakülviga 120 kg N ha⁻¹ ja hernele 20 kg N ha⁻¹. Kõik variandid rajati neljas korduses; iga katselapi pindala oli 60 m². Katse meetodika kirjeldus on olemas ka Madsen jt (2016) ja Kauer jt (2021). Umbrohtude liigiline koosseis, maa-pealne biomass ning arvukus määrati kolm nädalat enne kultuuride koristamist. Punase ristiku umbrohtumus määrati enne taimiku niitmist ning enne ädala sisseküündi. Umbrohud koguti kõikidelt katselappidelt kolmes korduses 25 × 25 cm raamiga.

Liigilise mitmekesisuse iseloomustamiseks kasutati Shannon-Weiner'i mitmekesisuse indeksit (H') mis arvutati järgnevalt (Murphy jt, 2006):

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

i – isendite arv i -ndast liigist;

p_i – liigi (suhteline) ohtus (võrrelduna teiste liikidega).

Katseandmeid töödeldi statistiliselt disperssioonanalüüsi (ANOVA) meetodil, kasutati andmetöötlusprogrammi Statistica 13 (Quest Software Inc). Variantide vaheliste erinevuste hindamiseks kasutati Tukey HSD testi, $p < 0,05$, kui tabelis või joonisel ei ole teisiti välja toodud.

Ilmastikutingimused varieerusid märkimisväärselt katseperioodi jooksul (tabel 1). 2012. aasta keskmised temperatuurid olid võrreldavad pikaajaliste keskmiste temperatuuridega, kuid sademete summa märtsist juunini oli 78 mm suurem kui tavaliselt. 2013. aasta mai ja juuni olid keskmisest soojemad, juuni oli oluliselt sademetevaesem kui pikaajaline keskmine (tabel 2).

Tabel 1. Keskmise temperatuur (°C) aastatel 2012–2017
Table 1. Average temperature (°C) in 2012–2017

Kuu / Month	Temperatuur °C / Temperature °C						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1969–2015*
Jaanuar/January	-6.1	-7.2	-7.8	-1.9	-9.4	-3.5	-5.2
Veebruar/February	-11.2	-3.6	-0.3	-0.8	0.3	-2.9	-5.6
Märts/March	-0.4	-7.8	2.2	2.7	-0.1	1.4	-1.5
Aprill/April	5.0	3.5	6.5	5.4	6.1	3.4	4.8
Mai/May	11.6	14.8	11.9	10.2	14.0	10.3	11.4
Juuni/June	13.6	18.2	13.4	14.2	15.9	14.0	15.4
Juuli/July	18.1	17.8	19.3	15.7	17.8	15.9	17.5
August/August	15.3	16.9	16.8	17.0	16.1	16.8	16.2
September/September	12.2	11.0	12.1	12.5	12.3	12.2	10.9
Oktoober/October	5.6	6.6	5.3	4.2	4.1	5.4	5.6
November/November	2.6	3.5	1.5	3.1	-1.0	2.4	0.6
Detsember/December	-6.6	1.0	-1.5	1.4	-0.4	0.2	-3.1

* 1969–2015. a keskmine, long-term average of 1969–2015

Tabel 2. Sademete summa (mm) aastatel 2012–2017
Table 2. Precipitation (mm) in 2012–2017

Kuu / Month	Sademete summa, mm / Precipitation, mm						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1969–2015*
Jaanuar/January	30	9	25	30	34	27	30
Veebruar/February	18	14	12	8	56	22	22
Märts/March	39	15	9	12	23	17	23
Aprill/April	42	17	14	69	52	51	28
Mai/May	82	61	84	62	2	15	59
Juuni/June	101	52	103	39	125	94	76
Juuli/July	74	63	71	61	82	61	70
August/August	87	75	113	41	42	106	88
September/September	58	27	22	59	15	83	56
Oktoober/October	45	45	36	13	33	75	56
November/November	50	70	10	54	46	26	45
Detsember/December	9	47	42	46	31	52	35

* 1969–2015. a keskmine, long-term average of 1969–2015

Hilinenud lumesadu 2013. aastal võis mõjutada vahekultuuride talvitumistingimusi. 2014. aasta temperatuurid sarnanesid pikaajaliste keskmistega, kuid

sademetest olid märts, aprill ja september väga põuased, samas kui mai, juuni ja august väga sademeterohked. 2015. aasta temperatuurid ei erinenud kuigivõrd keskmisest, kuid sademete poolest oli aasta põuane. 2016. aastal oli mai veidi soojem, kuid sademed praktiliselt puudusid terve kuu kuni juunini, mil sademeid langes 49 mm üle keskmise. 2017. aastal oli sademeid kõige vähem mais, rohkem aga juunis, augustis ja septembris. Meteoroloogilised andmed koguti Rõhu ilmajaamast.

Tulemused

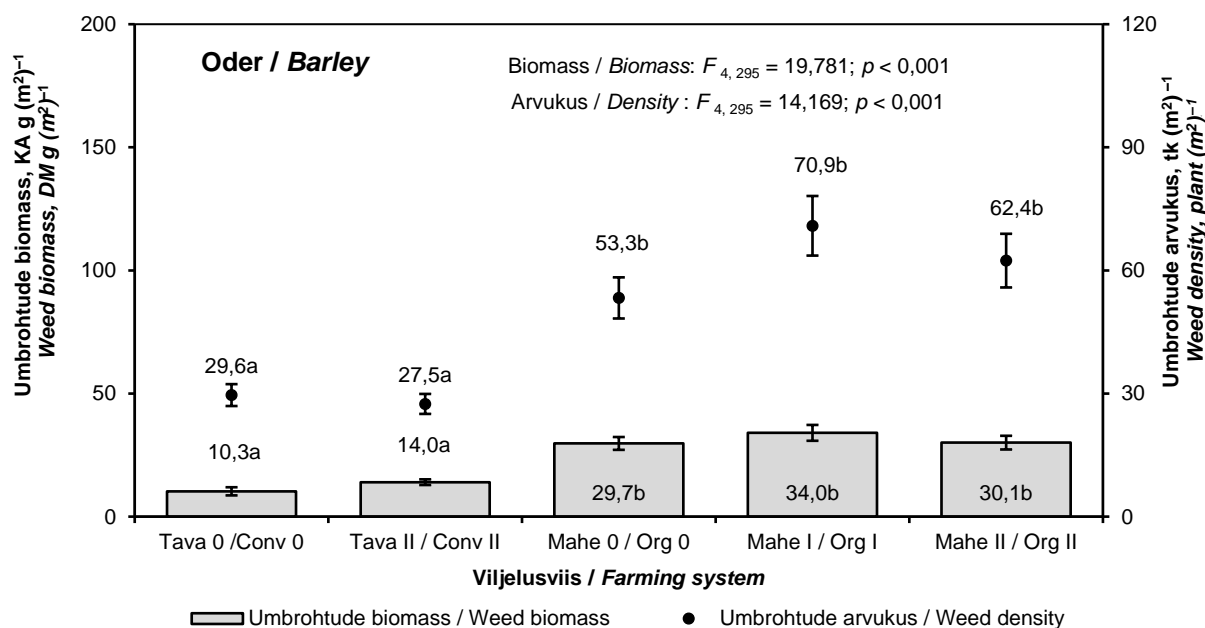
Umbrohtude arvukus ja biomass

Tulemused hõlmavad külvikorra teist rotatsiooni aastatel 2013–2017; esimese rotatsiooni andmed ning kirjeldus on avaldatud Madsen jt (2020) artiklis (artikkel puudutab eelkõige umbrohuseemneid ja nende püsimist mullas). Võrreldes esimese rotatsiooni lõpuga (Madsen jt, 2016) tõusid süsteemides nii umbrohtude arvukus kui biomass. Külvikorra kultuuri odra analüüsist selgus, et mahesüsteemide vahel usaldusväärset erinevust ei tekkinud (joonis 1). Vahekultuuridega külvikorra rikastamine Mahe I ja II süsteemides ei pärssinud umbrohtude arvukust ega biomassi. Herbitsiidide toime oli umbrohtude arvukus ja biomass tavasüsteemides statistiliselt usaldusväärset madalamad võrreldes mahesüsteemidega. Kõrgete väetisnormidega Tava II ei erinenud statistiliselt oluliselt kontrollsüsteemist Tava 0.

Ristikus, mis tuli külvikorda odra allakülvinä ja jäi järgnevalt talinisu eelkultuuriks, oli tavasüsteemides umbrohtude biomass odraga võrreldes ligi kaks korda kõrgem, kuid arvukus madalam (joonis 2). Kõrgel väetusfoonil kasvanud Tava II süsteemi umbrohtude biomass ületas usutavalt Tava 0 ja Mahe I süsteemide omi. Samas umbrohtude arvukuse poolest sellist erinevust ei olnud. Mahesüsteemides oli umbrohtude arvukus odraga võrreldes mitmekordselt väiksem, kuid biomass jäi samale tasemele. Sealjuures mahesüsteemid üksteisest usutavalt ei erinenud.

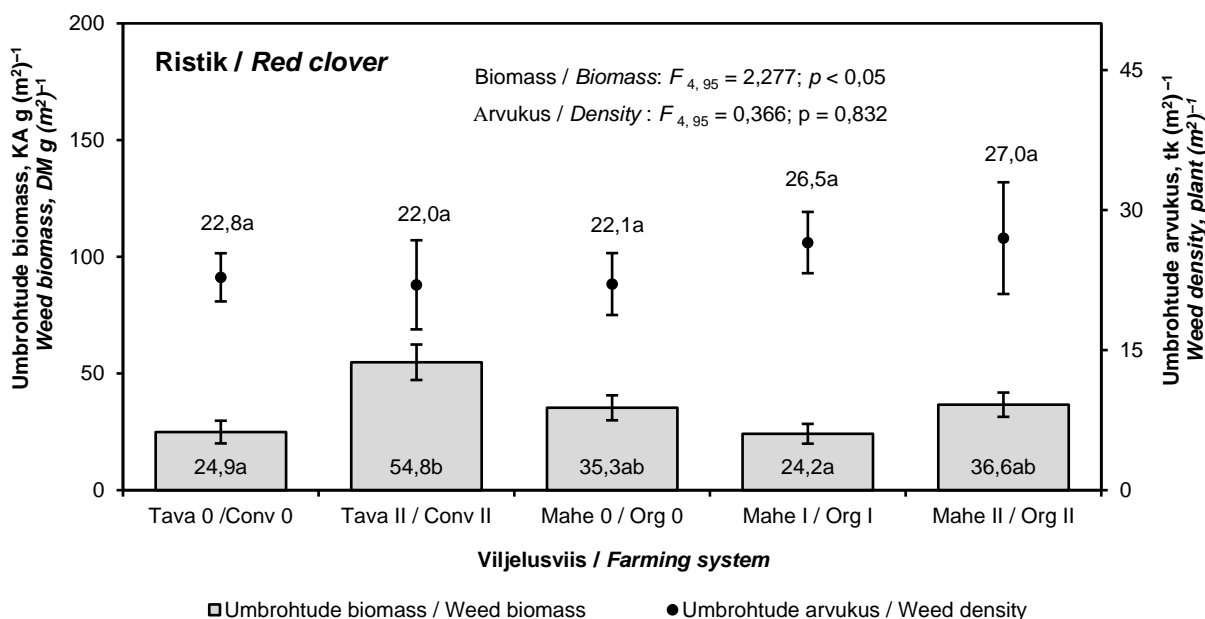
Ristikule järgneva talinisu tavasüsteemid umbrohtude tulemustelt üksteisest ei erinenud, kuid võrreldes eelneva kultuuriga olid arvukused kõrgemad, biomassid jäid madalamaks (joonis 3). Mahesüsteemide umbrohtude biomassid olid tavasüsteemide omadest usutavalt suuremad ning ka arvukus oli kõrgem. Mahe I ja II süsteemis avaldub väiksema arvukuse tendents võrreldes Mahe kontrollsüsteemiga võis seostuda vahekultuuride mõjuga, ent üldiselt mahesüsteemide vahel usaldusväärseid erinevusi ei esinenud.

Herne kõikides süsteemides ületasid nii umbrohtude arvukus kui biomass kõiki teisi külvikorra kultuure (joonis 4). Tavasüsteemides olid arvukus ja biomass usaldusväärset madalamad mahesüsteemidest. Tava 0 oli kõige väiksem biomass võrreldes kõigi teiste süsteemidega. Mahesüsteemides Mahe I ja Mahe II avaldus vahekultuuride mõjul madalama umbrohtude arvukuse tendents, samas biomassis olulisi erinevusi ei olnud.



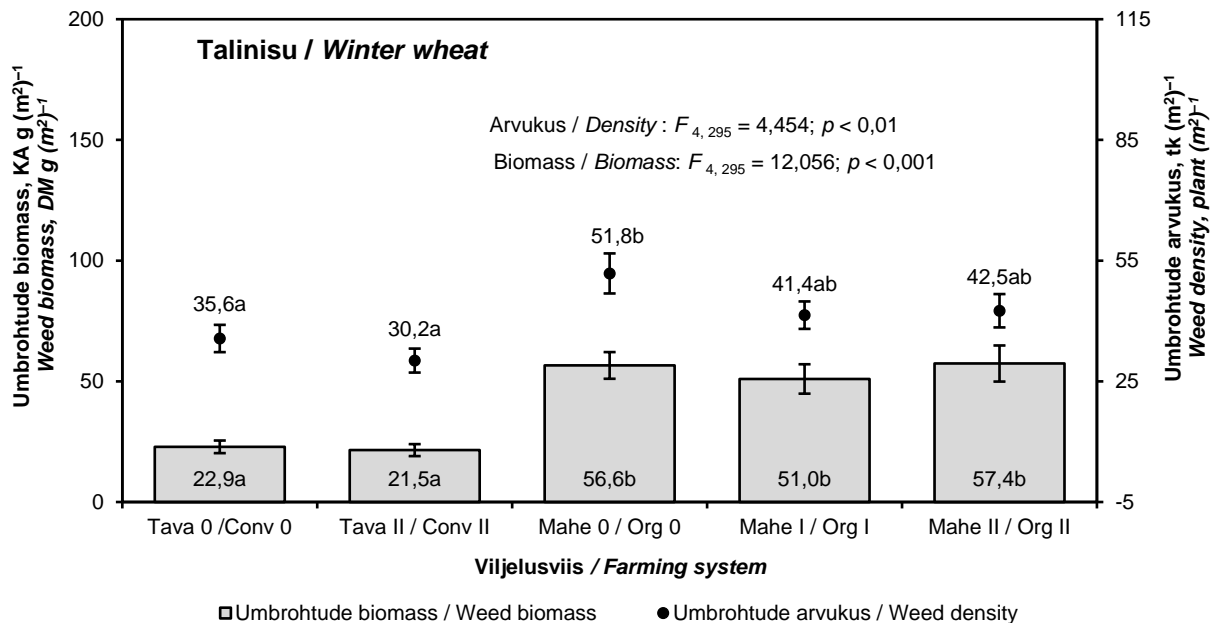
Joonis 1. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja arvukus (taime (m²)⁻¹) odras keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet, $n = 60$

Figure 1. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and density (plant (m²)⁻¹) in barley plots, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0.05$). Error bars denote the standard error of the means, $n = 60$



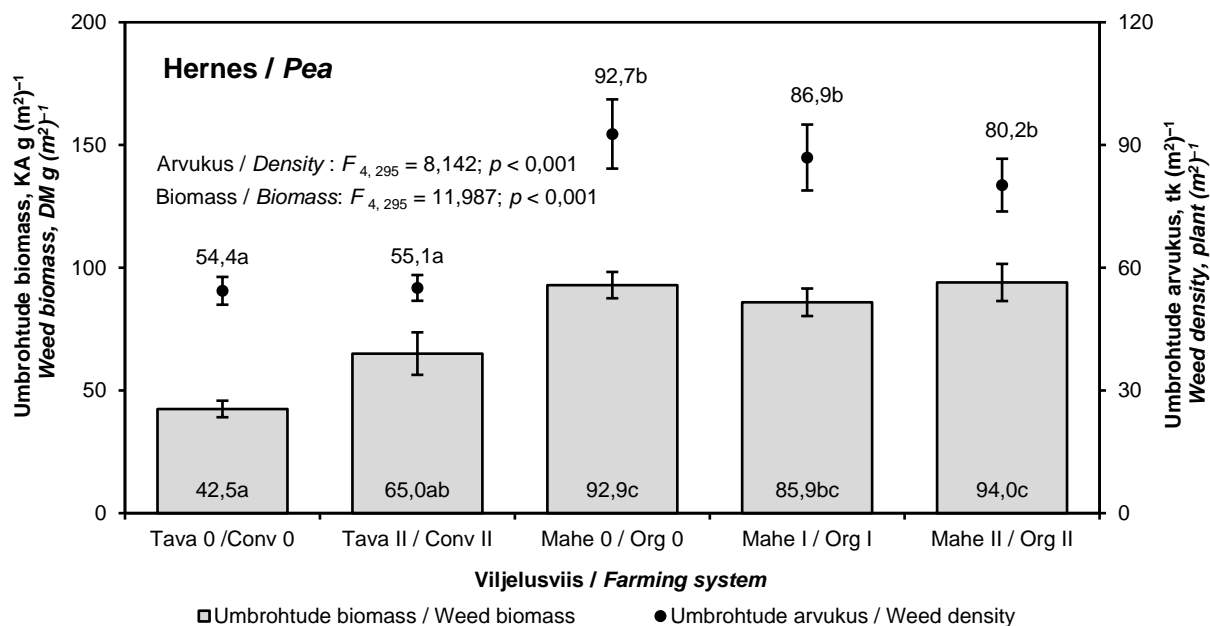
Joonis 2. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja arvukus (taime (m²)⁻¹) punases ristikus keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet, $n = 60$

Figure 2. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and density (plant (m²)⁻¹) in red clover plots, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0.05$). Error bars denote the standard error of the means, $n = 60$



Joonis 3. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja arvukus (taime (m²)⁻¹) talinisu keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, p < 0,05) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet, n = 60

Figure 3. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and density (plant (m²)⁻¹) in winter wheat plots, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, p < 0.05). Error bars denote the standard error of the means, n = 60



Joonis 4. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja arvukus (taime (m²)⁻¹) hernes keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, p < 0,05) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet, n = 60

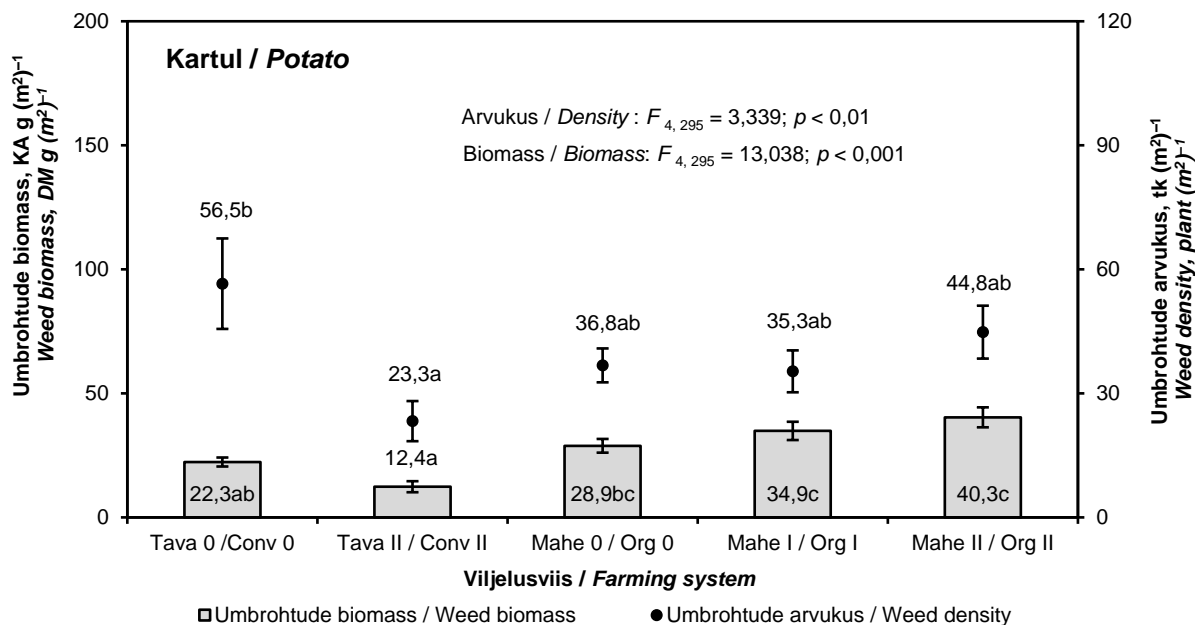
Figure 4. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and density (plant (m²)⁻¹) in pea plots, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, p < 0.05). Error bars denote the standard error of the means, n = 60

Ühes vähesema umbrohtumisega kultuuris kartulis erinesid statistiliselt üksteisest vaid tavasüsteemid, kusjuures tava kontrollsüsteemis (Tava 0) ületas umbrohtude arvukus usaldusväärset kõiki süsteeme (joonis 5).

Umbrohtude biomassid olid tavasüsteemides mahe-süsteemidest madalamad. Mahesüsteemides oli umbrohtude arvukus statistilise erinevusega, biomassi madalam tendents esines Mahe 0 süsteemis. Võrreldes teises rotatsioonis kõikide kultuuride keskmisena

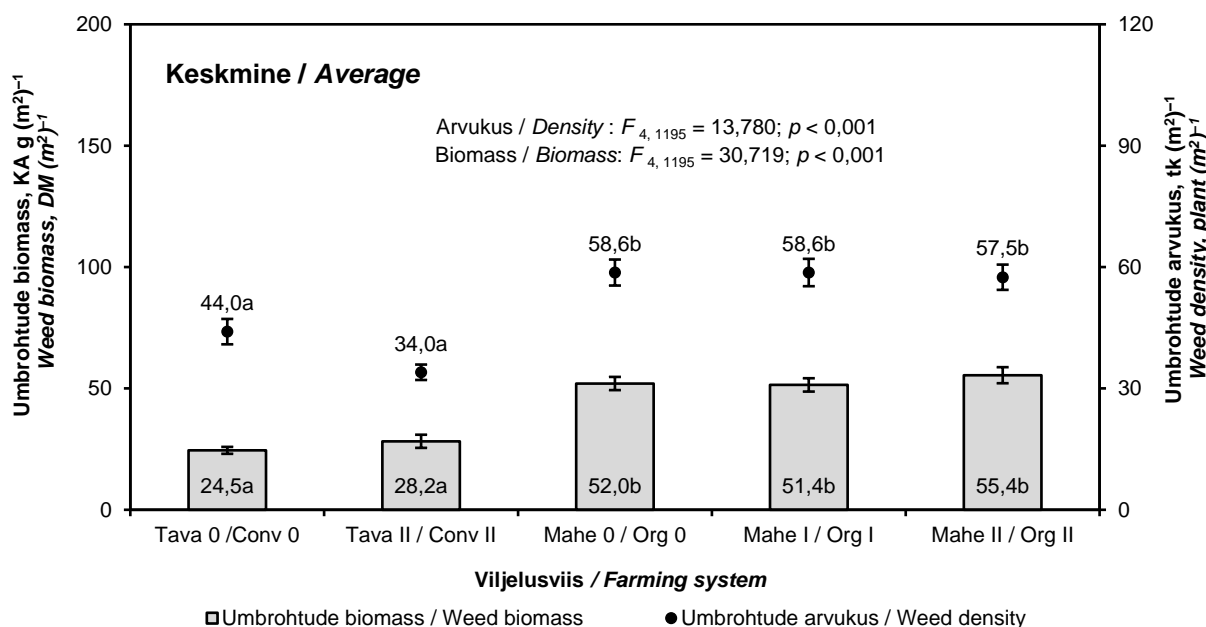
viljelusviiside mõju umbrohtude arvukusele ning biomassile, selgus et usaldusväärselt erinesid üksteisest üksnes tava- ja maheüsteemid, samas kummaski ei olnud süsteemide vahel usutavat erinevust (joonis 6). Tavasüsteemides avaldus tendents, et kontrollsüs-

teemis Tava 0 oli kõrgem arvukus kui kõrgema väetisfooniga Tava II süsteemis, mis võis olla mõjutatud eelkõige kartulis olnud umbrohtude kõrgeimast arvukusest selles süsteemis. Maheüsteemide umbrohtude arvukus ja biomass ei sõltunud viljelsüsteemist.



Joonis 5. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja umbrohtude arvukus (taime (m²)⁻¹) kartulis keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet, $n = 60$

Figure 5. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and weed density (plant (m²)⁻¹) in potato plots, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0.05$). Error bars denote the standard error of the means, $n = 60$



Joonis 6. Umbrohtude biomass (KA, g (m²)⁻¹) ja umbrohtude arvukus (taime (m²)⁻¹) 5 kultuuri keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet, $n = 260$

Figure 6. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and weed density (plant (m²)⁻¹) of the average of 5 crops, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0.05$). Error bars denote the standard error of the means, $n = 260$

Katsetulemuste dispersioonanalüüs näitas, et umbrohtude biomassi ning arvukust mõjutasid statistiliselt usutavalt nii kasvatatav kultuur, viljelussüsteem kui aasta, samuti oli usutav nende faktorite koosmõju (tabel 3).

Tabel 3. Dispersioonanalüüs viljelusviisi, kultuuri, aasta ja nende koosmõjust umbrohtude biomassile ning arvukusele aastatel 2013–2017

Table 3. Analyses of variance for weed biomass and weed density depending on farming system, crop, year and their interaction in 2013–2017

Tunnus Characteristic	Variatsiooni allikas Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Umbrohtude biomass Weed biomass	Aasta (Y) Year (Y)	4	101E3	253E2	14.40	<0.001
	Kultuur (C) Crop (C)	4	515E3	129E3	89.62	<0.001
	Viljelus- süsteem (FS) Farming system (FS)	4	187E3	468E2	27.68	<0.001
	Y x C	16	196E3	123E2	10.00	<0.001
	Y x FS	16	128E3	8001	5.21	<0.001
	C x FS	16	776E2	4851	3.90	<0.001
	Y x C x FS	64	201E3	3196	3.90	<0.001
	Umbrohtude arvukus Weed density	Aasta (Y) Year (Y)	4	769E3	192E3	122.8
Kultuur (C) Crop (C)		4	299E3	747E2	38.76	<0.001
Viljelussüsteem (FS) Farming system (FS)		4	112E3	280E2	13.52	<0.001
Y x C		16	198E3	123E2	10.29	<0.001
Y x FS		16	197E3	123E3	9.20	<0.001
C x FS		16	110E3	6874	3.84	<0.001
Y x C x FS		64	259E3	4110	5.70	<0.001

df – vabadusastmed; SS – ruutude summa; MS – keskmiste ruut; F – töötuluse keskmine ruut/vea keskmine ruut; p – olulisuse tõenäosuse väärtus.

*** - oluline tõenäosus $p < 0,001$ juures.

df – degrees of freedom; SS – sums of squares; MS – mean squares; F – treatment mean square/error mean square; p – significance probability value.

*** – significant at $p < 0.001$.

Umbrohtude liigiline mitmekesisus

Tava ja maheüsteemid erinesid umbrohtude arvukuselt ja biomassilt, kuid kas ka umbrohtude mitmekesisuselt ning rotatsiooni mõjult sellele? Tulemused näitasid, et maheüsteemides umbrohuliikide arvukus kasvas – kui rotatsiooni alguses oli 24 liiki, siis lõpus juba 31 liiki. Tavasüsteemides oli alguses 23 liiki, mis kahanes rotatsiooni lõpuks ühe võrra. Analüüs näitas, et süsteemid erinesid liikide mitmekesisuselt. Kõige arvukamalt esines nii tava- kui maheüsteemides põldkannikest (*Viola arvensis* Murray), harilikku kesalille (*Matricaria perforata* Merat), mailast (*Veronica persica* Poiret), harilikku orasheina (*Elytrigia repens* (Nevski)) ja valget hanemaltsa (*Chenopodium album* L.), kuid näiteks karvane hiirehernes (*Vicia hirsuta* (L.) S. F Gray) esines üksnes maheüsteemides. Humalutsern (*Medicago lupulina* L.) oli alguses üksnes maheüsteemides, kuid puudus seal rotatsiooni lõpus

ning täielikult tavasüsteemidest. Karukeel (*Anchusa arvensis* (L.) M. Bieb) esines vaid maheüsteemides. Kahar kirburohi (*Polygonum lapatifolium* L.) ilmus mõlemasse süsteemi rotatsiooni lõpuks. Harilik liivkann (*Arenaria serpyllifolia* L.) tuli üksnes maheüsteemidesse alles rotatsiooni lõpus. Põld-lõosilm (*Myosotis arvensis* (L.) Hill) ja lõhnav kummel [*Matricaria suaveolens* (*Chamomilla suaveolens* (Pursh) Rydb. või *Ch. recutita* (L.) Rauschert)] olid kogu katseperioodi vältel maheüsteemides ning tavasüsteemidesse ilmusid alles rotatsiooni lõpus.

Shannon-Wiener (S-W) ehk mitmekesisuse indeks võimaldab võrrelda liigilise mitmekesisuse erinevuste usaldusväärsust kultuuridest ja süsteemidest sõltuvalt. Indeksi kõrgem väärtus iseloomustab suuremat mitmekesisust, mis omakorda võimaldab hinnata umbrohtumusele avalduvat otsest mõju viljelussüsteemist olenevalt. Kui umbrohtude arvukus ja tihedus hindavad eelkõige teostatud tõrjevõtete efektiivsust, siis S-W indeks aitab välja selgitada tõrjevõtetega kaasnenud mullaviljakuse kõikumisi umbrohuliikide kasvukoha eelistustest sõltuvalt.

Teise rotatsiooni alguses 2013. a. olid S-W indeksid odras kõikides maheüsteemides tavasüsteemidest kõrgemad ja tõusid teiste kultuuridega võrreldes kõige enam teise rotatsiooni lõpuks, mis viitab liigirikkuse olulisele tõusule (tabel 4). Rotatsiooni lõpuks erinesid usaldusväärselt süsteemid Tava 0 ja Mahe I, kusjuures Mahe I süsteemi mitmekesisus oli suurim nii kultuuri lõikes kui kogu rotatsiooni arvestuses.

Ristikus ületasid rotatsiooni alguses tavasüsteemide S-W indeksid maheüsteemide omi. Rotatsiooni jooksul vähenes vaid süsteemi Tava II mitmekesisus, samas kui Tava 0 S-W indeks ületas kõiki teisi, ka maheüsteeme.

Talinis umbrohtude mitmekesisus suurenes rotatsiooni lõpuks kõigis süsteemides, usaldusväärselt toimus S-W indeksi kasv Tava 0, Mahe I ja Mahe II süsteemides. Suurim indeksi muutus toimus süsteemis Tava II.

Kõrgemad S-W indeksite väärtused hernes rotatsiooni alguses viitavad mitmekesisemale umbrohtumusele ülejäänud kultuuridega võrreldes. Rotatsiooni lõpuks erines usaldusväärselt vaid süsteem Tava II.

Kartulis olid tavasüsteemide S-W indeksite väärtused rotatsiooni alguses teiste kultuuridega võrreldes kõige madalamad. Kuid rotatsiooni lõpuks toimus mitmekesisuse märkimisväärne suurenemine, usaldusväärselt süsteemides Tava II ja Mahe II.

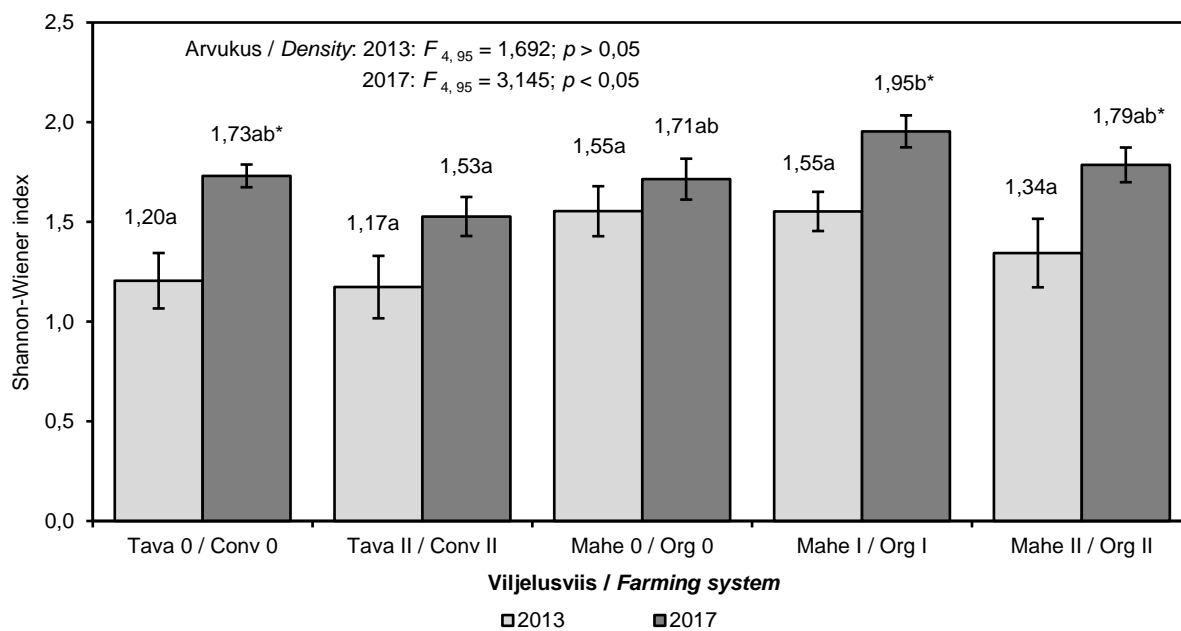
Kõikide külvikorkultuuride keskmiste erivevate kasvatussüsteemide S-W indeksite väärtuste võrdlus teise rotatsiooni alguses ja lõpus näitas, et rotatsiooni lõpuks kasvas mitmekesisus usaldusväärselt süsteemides Tava 0, Mahe I ning Mahe II (joonis 7). Usaldusväärtus erinevus rotatsiooni lõpuks ilmnis süsteemide Tava II ja Mahe I vahel, sealjuures Mahe I S-W indeks ületab kõiki teisi süsteeme.

Table 4. Viljelussüsteemi ja kultuuri mõju Shannon-Wieneri indeksile peale esimest rotatsiooni (2013) ning peale teist rotatsiooni (2017)
Table 4. The effect of farming system and crop on Shannon-Wiener index after the 1st crop rotation (2013) and after the 2nd crop rotation (2017)

Viljelussüsteem Farming System	Peale esimest rotatsiooni (2013) / After 1 st crop rotation (2013)					
	Tava 0 / Conv 0	Tava II / Conv II	Mahe 0 / Org 0	Mahe I / Org I	Mahe II / Org II	Keskmine / Average
Oder (allakülv) Barley (undersown)	0,93 AB ± 0,10	1,09 B ± 0,30	1,42 AB ± 0,33	1,59 B ± 0,19	1,74 B ± 0,13	1,35 A ± 0,11
Punane ristik Red clover	1,73 Be ± 0,03	1,54 BCd ± 0,01	0,87 Aa ± 0,01	0,99 Ab ± 0,01	1,29 ABc ± 0,03	1,28 A ± 0,07
Talinisu Winter wheat	0,92 ABb ± 0,10	1,40 BCc ± 0,06	1,84 BCc ± 0,11	1,41 ABc ± 0,04	0,17 Aa ± 0,17	1,15 A ± 0,14
Hernes Pea	1,82 B ± 0,11	1,84 C ± 0,10	2,22 C ± 0,17	2,16 C ± 0,16	2,35 C ± 0,15	2,08 B ± 0,07
Kartul Potato	0,62 Aab ± 0,44	0,00 Aa ± 0,00	1,42 ABbc ± 0,05	1,62 Bc ± 0,07	1,17 Abc ± 0,09	0,97 A ± 0,16
	Peale teist rotatsiooni (2017) / After 2 nd crop rotation (2017)					
Oder (allakülv) Barley (undersown)	1,85 ab* ± 0,09	1,52 Ba ± 0,05	2,12 Cb ± 0,06	2,46 Bc* ± 0,09	2,12 Cb ± 0,09	2,01 B* ± 0,08
Punane ristik Red clover	1,80 c ± 0,02	1,30 ABb* ± 0,06	1,07 Aa* ± 0,01	1,73 Ac* ± 0,03	1,10 Aa ± 0,07	1,40 A ± 0,07
Talinisu Winter wheat	1,71* ± 0,08	1,66 BC ± 0,15	1,90 BC ± 0,09	1,79 A* ± 0,13	1,88 BC* ± 0,03	1,79 B* ± 0,05
Hernes Pea	1,84 ± 0,13	2,14 C* ± 0,05	2,02 C ± 0,16	2,12 AB ± 0,14	2,05 BC ± 0,05	2,04 B ± 0,05
Kartul Potato	1,46 ab ± 0,20	1,01 Aa* ± 0,18	1,46 ABab ± 0,20	1,68 Aab ± 0,10	1,78 Bb* ± 0,07	1,48 A* ± 0,09

Igas veerus suurtähele järgnev keskmine näitab kultuuride olulist mõju (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$); igas reas kirjatähele järgnev keskmine näitab viljelussüsteemi olulist mõju (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$); iga keskmine, millele järgneb tärn (*) näitab olulist erinevust esimese (2013) ja teise (2017) rotatsiooni vahel (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$).

Means followed by a different capital letter within each column indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$); means followed by a different small letter within each row indicate significant influence of farming systems (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$); means followed by a * indicate significant difference between values after 1st (2013) and after 2nd (2017) crop rotation (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$).



Joonis 7. Shannon-Wieneri indeks vastavalt viljelusviisile 2013. a (peale esimest rotatsiooni) ning 2017. a (peale teist rotatsiooni). Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet

Figure 7. Shannon-Wiener index in 2013 (after the 1st crop rotation) and in 2017 (after the 2nd crop rotation) according to farming systems. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$). Error bars denote the standard error of the means

Arutelu

Umbrohi on põllukoosluste loomulik osa, mille küllust ja liigilist koosseisu mõjutavad külvikord seal kasvatatavate kultuuridega, mullaharimine ning viljelusviisid (Weisberger jt, 2019; Saulic jt, 2022). Käesolevas uurimuses, kus pikaajalises viieväljalise külvikorra katses uuriti teise rotatsiooni jooksul toimunud muutusi umbrohtude biomassis, arvukuses ja liigilises mitmekesisuses sõltuvalt kultuurist ja viljelusviisist, näitasid tulemused, et teise rotatsiooni lõpuks kasvasid kõik näidud.

Odras ja kartulis oli teiste külvikorrakultuuridega võrreldes umbrohtude biomass väiksem (joonis 1 ja 5). Kartuli umbrohtumist mõjutas eelkõige mehaaniline vahelharimine ning kuna viimase külvikorra kultuurina oli kartul odra eelkultuur, võis selle järelmõju mõjutada ka otra. Keemilise umbrohutõrje ning väetiste kasutamise tõttu oli odra tavasüsteemides usaldusväärselt väiksem umbrohtude biomass ja arvukus kui mahe-süsteemides (joonis 1, tabel 4). Keemilise umbrohutõrje ja väetamise mõju umbrohtumuse vähenemisele kinnitavad ka varasemate uuringute tulemused (Berbéc jt, 2020). Talviste vahekultuuride kasutamine Mahe I ja Mahe II süsteemides suurendas mulda viidavat biomassi ning seega suurenes süsiniku sisaldus mullas. Kõrgema süsiniku sisaldusega kaasneb ka mulla mikroorganismide aktiivsuse kasv, mis aitab viia taimetoitained kiiremini taimedele omastatavasse vormi ning kahjustab umbrohtude seemneid (Kuht jt, 2022a, b). Peale selle mõjutasid umbrohtumuse arvukuse, biomassi ning liigilise mitmekesisuse kasvu mahe-süsteemides odrale allakülvatud punane ristik (joonis 1, tabel 4).

Kartuli mahe-süsteemides umbrohu arvukuses olulist erinevust ei olnud, kuid vahekultuurid avaldasid usaldusväärselt positiivset mõju liigilisele mitmekesisusele võrreldes tavasüsteemidega (joonis 5, tabel 4). Umbrohtude arvukus osutus suurimaks Tava 0 süsteemis – arvukus oli kaks korda kõrgem kui Tava II süsteemis ning selge tendentsina kõrgem ka mahe-süsteemidest. Selline arvukus võis tuleneda mõne umbrohuliigi domineerimisest, mineraalväetiste puudumisest tingitud väiksemast toitainete sisaldusest mullas ning umbrohutõrjeks kasutatud herbitsiidide tõttu (De Cauwer jt, 2010; Rotchés-Ribalta jt, 2017; Rotchés-Ribalta jt, 2020). Samad autorid on leidnud, et teatud liiki umbrohud on võimelised kohanema toitainevaesema mulla ning pestitsiidide olemasoluga. Meie katsed näitasid, et umbrohtude mitmekesisus S-W indeks oli madalaim rotatsiooni alguses, samas kui rotatsiooni lõpuks toimus indeksi märgatav tõus (tabel 4). Seega esines algul väiksem hulk sellistele tingimustele kohastunud liike, kuid see-eest arvukalt. Paljud autorid ongi esile toonud, et herbitsiidide kasutus mõjutab kooslustes liikide vahelist tasakaalu, vähendades herbitsiididele tundlike liikide mitmekesisust samas soodustades resistentsete liike (Bärberi jt, 1998; Squire jt, 2000; Robinson, Sutherland, 2002; Hawes jt, 2010; Ryan jt, 2010; José-María, Sans, 2011).

Odrale allakülvina järgnenud ristikus oli umbrohtude biomass kõrgem kõikides süsteemides, kuid arvukus eelneva kultuuriga võrreldes madalam (joonis 2). Ristik täiendab külvikorras oluliselt mullaviljakust tänu õhulämmastiku fikseerimisele (Bybee-Finley, Ryan, 2018) ning suurele maapealsele ja -alusele biomassile. Lisaks ta varjutab ja surub hästi alla umbrohtumust (Law jt, 2021). Teistest süsteemidest kõrgem biomass Tava II süsteemi ristikus (joonis 2) seletub eelnenud odra suurte normidega lämmastikväetistega väetamisest, mis kahjustas odra allakülvina rajatud noort ristikut. See põhjustas tühikuid ka selle süsteemi järgneva aasta ristikus. Tühikutes hakkas kasvama umbrohi, mis oli lisaks ka mitmekesisem kui mahe-süsteemides rotatsiooni algul (tabel 4). Rotatsiooni lõpus suurenes umbrohtude mitmekesisus ka mahe-süsteemides, kuid tavasüsteemides jäi see keskmiselt kõrgemaks. Võimalik, et tavasüsteemides avaldus kerge herbitsiidi resistentuse tendents. Ristikus domineerisid just pikaajalised umbrohud, mille kontrolli all hoidmise seisukohalt on oluline ristiku niitmine ja umbrohtude väljakurnamine. Ristiku mullaviljakust tõstvad omadused võisid stimuleerida teatavate resistentsemate umbrohuliikide kasvu.

Tavasüsteemide talinisis oli võrreldes eelnenud ristikuga umbrohtude biomass madalam, kuid arvukus kõrgem. Tava 0 süsteemis oli rotatsiooni algul kõrgem arvukus ja väiksem mitmekesisus (joonis 3, tabel 4), mis viitavad teatavate liikide domineerimisele. Rotatsiooni jooksul mitmekesisus küll tõusis mõlemas tavasüsteemis, ent jäi madalamaks kui mahe-süsteemides. Woźniac ja Soroka (2022) mainisid oma artiklis, et viljavaheldus soosib bioloogilist mitmekesisust põllul ning vähendab domineerivaid umbrohuliike, soodustades seega kultuurtaimede kasvu. Umbrohtude biomass mahe-süsteemides ületas usaldusväärselt tavasüsteeme, kujuures ka arvukus jäi tendentsilt kõrgemaks. Rotatsiooni lõpus ületasid kõik talinisis mahe-süsteemid mitmekesisusel tavasüsteeme. Mahe-süsteemide mullas avaldus ristiku kasulik mõju mullaomadustele (Kuht jt, 2020) ja see avas paremad toitumistingimused ka umbrohtudele. Tavasüsteemides aga pärsiti mullaaktiivsust pestitsiididega (Luik jt, 2017), mistõttu taimedele kättesaadavaid toitaineid ei vabaneud kiirelt. Mahe-süsteemide suur umbrohtude biomass talinisis võis olla põhjustatud kesalille ohtrast levikust talinisis – ka väiksem arvukus andis märkimisväärsemat biomassi. Kesalille rohke esinemine mahe-süsteemides on tingitud sellest, et talvituva umbrohuna on ta kevadise äestamise ajaks tugevasti juurdunud ja äestamine tema arvukust ei vähenda. Tavasüsteemides kesalille praktiliselt ei esinenud.

Hernes kultuurina ei avaldanud umbrohtudele olulist survetõrjet ning oli kõikides kasvatussüsteemides rotatsiooni algusest lõpuni kõige umbrohurikkam kultuur nii biomassilt, arvukuselt kui mitmekesisuselt (joonis 4, tabel 4). Tõenäoliselt hernes, kui liblikõieline kultuur, tõstes toitainete sisaldust mullas, lõi umbrohtudele soodsamad tingimused kasvuks (Luik jt, 2014; Madsen jt, 2016). Samas, nagu nähtus Mahe II süsteemi kõrgeimast biomassist, võis kasutatud kompostist tulenev

suurenenud süsiniku hulk mullas anda umbrohtudele eelise herne ees. Mahesüsteemides kasvas tiheda taimikuga hernes umbrohtude biomass peamiselt mitmeaastaste umbrohtude arvelt (põldohakas, põldosi). Tava II süsteemis, kus kasutati mineraalväetisi, oli umbrohtude biomass märgatavalt kõrgem kui Tava 0 kontrollsüsteemis. Mõlemas aga olid nii biomass kui arvukus usaldusväärset väiksemad võrreldes mahesüsteemidega. Viimastes avaldus umbrohtude arvukuse ning mitmekesisuse vähenemise tendents vahekultuuride (Mahe I) ja vahekultuuride ning kompostitud sõnniku koosmõjus (Mahe II).

Järeldused

Kuigi eri kultuurides avaldus kasvatussüsteemi mõju umbrohtude biomassile ja arvukusele mõnevõrra erinevalt, siis kõikide külvikorra kultuuride keskmistena tuli usaldusväärne erinevus selgelt esile vaid tava- ja mahetiljelussüsteemide vahel. Pikaajalistes rotatsioonides seostataksegi umbrohtumuse muutusi eelkõige erinevate kasvatussüsteemidega, mis muudavad umbrohtude kasvutingimusi. Tavasüsteemides esines herbitsiidide toimel statistiliselt usaldusväärset väiksem umbrohtude arvukus ja biomass kui mahesüsteemides; sama tendents avaldus ka mitmekesisuses, eriti esimese rotatsiooni algul.

Toitainete poolest vaesunud mullaga Tava 0 süsteemi suurenenud umbrohtude arvukus rotatsiooni lõpus näitas mitmekesisemat umbrohtude koosseisu, mis viitab väetamata kultuurtaimede madalamale survetõrjele. Samas Tava II süsteemis osutus umbrohtude biomass kõrgemaks, kuid arvukus ja ka mitmekesisus madalamaks tõenäoliselt just tugeva väetamise tõttu, mis varustasid nii kultuur- kui umbrohtuaimi toitainetega, soodustades sealjuures teatavate umbrohuliikide domineerimist. Mahesüsteemides kasutatud vahekultuurid (Mahe I) ja nende ning sõnniku koosmõju (Mahe II) ei avaldanud loodetud pärssivat mõju umbrohtude biomassile ja arvukusele.

Mahesüsteemide mitmekesisus oli tavasüsteemidest suurem ja rotatsiooni lõpuks kõrgeim vahekultuuridega Mahe I süsteemis, mis on ilmselt selgitatavad soodsamate kasvutingimuste, keemiliste häiringute puudumise ning paremate mullaomadustega mahesüsteemides. Umbrohtumus ei seostu alati suuremate saagi kadudega. On teada, et teatav umbrohupopulatsioon saab olla ökoloogiliselt põllukultuurile kasulik, kuna see pakub toitu ja elupaika paljudele kasulikele organismidele toetades põllu kui ökosüsteemi toimimist. Seega on vajalikud jätkuvad uuringud mahesüsteemides umbrohutõrjeks optimaalsete lahenduste leidmiseks.

Töö hüpotees leidis kinnituse, sest pikaajalises külvikorra katses võrreldes esimese rotatsiooniga umbrohtude biomass, arvukus ja mitmekesisus suurenesid sõltuvalt kultuurist ning kasvatussüsteemist, sealjuures oli viimase mõju usaldusväärsem.

Tänuavaldused

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

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panused / Authors contributions

HM – proovide kogumine, käsikirja kirjutamine, käsikirja toimetamine, lõplik heakskiit / *sampling, drafting of manuscript, revision and approval the final version of manuscript*

VE – katseandmete statistiline analüüs / *statistical analysis*

EM – käsikirja toimetamine, inglise keele korrektuur / *revision and approval the final version of manuscript, English correction*

AL – katse korraldamine, käsikirja toimetamine, lõplik heakskiit / *study conception and design, revision and approval the final version of manuscript*

LT – katse korraldamine, proovide kogumine, käsikirja toimetamine, lõplik heakskiit / *study conception and design, sampling, revision and approval the final version of manuscript*

Kasutatud kirjandus

- Afandi, G., Manik, T.K., Rosadi, B., Utomo, M., Senge, M., Adachi, T., Oki, Y. 2002. Soil erosion under coffee trees with different weed managements in humid tropical hilly area of Lampung, South Sumatra, Indonesia. – *Journal of the Japanese Society of Soil Physics*, 91:3–14.
- Arnhold, S., Lindner, S., Lee, B., Martin, E., Kettering, J., Nguyen, T.T., Koellner, T., f, Okg, Y.S., Huwe, B. 2014. Conventional and organic farming: Soil erosion and conservation potential for row crop cultivation. – *Geoderma*, 219–220:89–105.
- Azadi, H., Schoonbeek, S., Mahmoudic, H., Derudder, B., De Maeyera, P., Witloxa, F. 2011. Organic agriculture and sustainable food production system: Main potentials. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144:92–94.
- Bärberi, P., Cozzani, A., Macchia, M., Bonari, E. 1998. Size and composition of the weed seedbank under different management systems for continuous maize cropping. – *Weed Research*, 38:319–334.
- Berbéc, A.K., Staniak, M., Feledyn-Szewczyk, B., Kocira, A., Stalenga, J. 2020. Organic but Also Low-Input Conventional Farming Systems Support High Biodiversity of Weed Species in Winter Cereals. – *Agriculture*, 10:413. DOI: 10.3390/agriculture 10090413
- Blavet, D., De Noni, G., Le Bissonnais, Y., Leonard, M., Maillo, L., Laurent, J.Y., Asseline, J., Leprun, J.C., Arshad, M.A., Roose, E. 2009. Effect of land use and management on the early stages of soil water

- erosion in French Mediterranean vineyards. – *Soil and Tillage Research*, 106(1):124–136.
- Bond, W., Grundy, A.C. 2010. Non-chemical weed management in organic farming systems. – *Weed Research*, 41:383–405.
- Bretagnolle, V., Gaba, S. 2015. Weeds for Bees? A Review. – *Agronomy for Sustainable Development*, 35:891–909. DOI: 10.1007/s13593-015-0302-5
- Butkevičiene, L.M., Skinuliene, L., Auželien, I., Bogužas, V., Pupaliene, R., Steponavičienė, V. 2021. The Influence of Long-Term Different Crop Rotations and Monoculture on Weed Prevalence and Weed Seed Content in the Soil. – *Agronomy*, 11:1367. DOI: 10.3390/agronomy11071367
- Bybee-Finley, K.A., Ryan, M.R. 2018. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. – *Agriculture*, 8(6):80. DOI: 10.3390/agriculture8060080
- Carcamo, H.A., Niemala, J.K., Spence, J.R. 1995. Farming and ground beetles – effects of agronomic practice on populations and community structure. – *Canadian Entomologist*, 127:123–140.
- Colquhoun, J.B., Bellinder, R.R. 1996. Re-evaluating cultivation and its potential role in American vegetable weed control. In: *Proceedings Xe Colloque International Sur la Biologie Des Mauvaises Herbes*. Dijon, France, p. 335–341.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bärberi, P., Fließbach, A., Peigné, J., Berner, A., Brock, C., Casagrande, M., Crowley, O., David, C., De Vliegheer, A., Döring, T.F., Dupont, A., Entz, M., Grosse, M., Haase, T., Halde, C., Hammerl, V., Huiting, H., Leithold, G., Messmer, M., Schloter, M., Sukkel, W., van der Heijden, M.G.A., Willekens, K., Wittwer, R., Mäder, P. 2016. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. – *Agronomy for Sustainable Development*, 36:22. DOI 10.1007/s13593-016-0354-1
- De Cauwer, B., Van Den Berge, K., Cougnon, M., Bulcke, R., Reheul, D. 2010. Weed seedbank responses to 12 years of applications of composts, animal slurries or mineral fertilisers. – *Weed Research*, 50(5):425–435. DOI:10.1111/j.1365-3180.2010.00796
- Eraud, C., Cadet, E., Powolny, T., Gaba, S., Bretagnolle, F., Bretagnolle, V. 2015. Weed Seeds, Not Grain, Contribute to the Diet of Wintering Skylarks in Arable Farmlands of Western France. – *European Journal of Wildlife Research*, 61:151–161. DOI: 10.1007/s10344-014-0888-y
- García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M.B., Arcenegui, V., Zornoza, R., Sempere, J.G. 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. – *Soil and Tillage Research*, 106(1):117–123.
- Hawes, C., Squire, G.R., Hallett, P.D., Watson, C., Young, M.W. 2010. Arable plant communities as indicators of farming practice. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138:17–26.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., Evans, A.D. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? – *Biological Conservation*, 122:113–130.
- José-María, L., Sans, F.X. 2011. Weed seedbanks in arable fields: effects of management practices and surrounding landscape. – *Weed Research*, 51:631–640.
- Kauer, K., Pärnpuu, S., Talgre, L., Ereemeev, V., Luik, A. 2021. Mulla orgaanilise aine koostis sõltuvalt viljelusviisist. – *Agronoomia* 2021. Ilme Tupits, Ülle Tamm, Sirje Tamm, Anu Toe, Evelyn Vanamb (Toim.). – Vali Press: Tartu, Eesti, lk 33–38.
- Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. – *Agriculture Ecosystems & Environment*, 74:187–228.
- Kuht, J., Ereemeev, V., Alaru, M., Luik, A., Talgre, L. 2020. Punase ristiku kasvatamise mõju mulla mikroobide aktiivsusele ja orgaanilise süsiniku sisaldusele erinevates viljelusviisides. – *Agronoomia* 2020. Maarika Alaru (Toim.). – Vali Press: Tartu, Eesti, lk 63–69.
- Kuht, J., Ereemeev, V., Talgre, L., Runno-Paurson, E., Alaru, M., Luik, A. 2022a. Mulla mikroobide aktiivsus olenevalt ilmastikutingimustest ja eelviljast tava- ja maheviljellussüsteemides. – *Agronoomia* 2022. Maarika Alaru (Toim.). – Vali Press: Tartu, Eesti, lk 97–103.
- Kuht, J., Ereemeev, V., Talgre, L., Loit, E., Mäeorg, E., Margus, K., Runno-Paurson, E., Madsen, H., Luik, A. 2022b. Soil microbial activity in different cropping systems under long-term crop rotation. – *Agriculture*, 12(4):532. DOI: 10.3390/agriculture1204
- Law, E.P., Wayman, S., Pelzer, C.J., DiTommaso, A., Ryan, M.R. 2021. Intercropping red clover with intermediate wheatgrass suppresses weeds without reducing grain yield. – *Agronomy Journal*, 114:700–716. DOI: 10.1002/agj2.20914
- Liebman, M., Davis, A.S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. – *Weed Research*, 40:27–47.
- Luik, A., Talgre, L., Ereemeev, V., Sanches de Cima, D., Reintam, E. 2014. In crop rotation winter cover crops improved soil properties. “Teaduselt mahepõllumajandusele” konverentsi toimetised. Mahekogumik, Tartu, Estonia, lk 56–59.
- Luik, A., Talgre, L., Madsen, H., Ereemeev, V. 2017. Maheviljelus koos talviste vahekultuuridega parandab ökosüsteemide teenuseid. – *Teaduselt mahepõllumajandusele*. Metspalu, L., Luik, A., Peetsmann, E. (Eds.). – Eesti Loodusfoto: Tartu, Estonia, lk 89–95.
- Madsen, H., Talgre, L., Ereemeev, V., Alaru, M., Kauer, K., Luik, A. 2016. Do green manures as winter cover crops impact the Weediness and crop yield in an organic crop rotation? – *Biological Agriculture & Horticulture*. DOI: 10.1080/01448765.2016.1138141

- Madsen, H., Talgre, L., Kuht, J., Alaru, M., Eremeev, V., Mäeorg, E., Loit, E., Luik, A. 2020. Organic Cropping Systems do not Increase Weed Seed Numbers but do Increase Weed Diversity – Agricultural Research & Technology, 23(4).
- Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., Ward, L.K. 2003. The Role of Weeds in Supporting Biological Diversity within Crop Fields. – Weed Research, 43: 77–89. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x
- Murphy, S.D., Clements, D.R., Belaussoff, S., Kevan, P.G., Swanton, C.J. 2006. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. – Weed Science, 54:69–77.
- Mäder, P., Fliebbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. – Science:296.
- Robinson, R.A., Sutherland, W.J. 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. – Journal of Applied Ecology, 39:157–176.
- Rollin, O., Benelli, G., Benvenuti, S., Decourtye, A., Wratten, S.D., Canale, A., Desneux, N. 2016. Weed-Insect Pollinator Networks as Bio-Indicators of Ecological Sustainability in Agriculture. A Review. – Agronomy for Sustainable Development, 36(8). DOI: 10.1007/s13593-015-0342-x.
- Rotchés-Ribalta R., Sans, F.X., Mayer, J., Mäder, P. 2020. Long-term farming systems and last crop sown shape the species and functional composition of the arable weed seed bank. – Applied Vegetation Science, 23:428–440.
- Rotchés-Ribalta, R., Armengot, L., Mäder, P., Mayer, J., Sans, F.X. 2017. Long-term management affects the community composition of arable soil seedbanks. – Weed Science, 65(1):73–82. DOI: 10.1614/WS-D-16-00072.1
- Ryan, M.R., Smith, R.G., Mirsky, S.B., Mortensen, D.A., Seidel, R. 2010. Management filters and species traits: weed community assembly in long-term organic and conventional systems. – Weed Science, 58:265–277.
- Saulic, M., Oveisi, M., Djalovic, I., Bozic, D., Pishyar, A., Savić, A., Prasad, V., Vrbničanin, S. 2022. How Do Long Term Crop Rotations Influence Weed Populations: Exploring the Impacts of More than 50 Years of Crop Management in Serbia. – Agronomy, 12(8):1772. DOI: 10.3390/agronomy12081772
- Squire, G.R., Rodger, S., Wright, G. 2000. Community-scale seedbank response to less intense rotation and reduced herbicide input at three sites. – Annals of Applied Biology, 136:47–57.
- Talgre, L., Eremeev, V., Madsen, H., Alaru, M., Loit, E., Luik, A. 2019. Organic cropping system with cover crops in combination with composted cattle manure significantly improve soil properties. – Comparing Organic and conventional agricultural cropping systems – What can be learned from the DOK and other long-term trials?: Comparing Organic and conventional agricultural cropping systems- What can be learned from the DOK and other long-term trials? Congressi Stefano Franscini, Monte Verita, Ascona, Switzerland, Oct. 10–11. 2019. FIBL, 84.
- Tarand, A. 2003. Time series of observed air temperature in Tallinn. – Publications Instituti Geographici Universitatis Tartuensis. – Tartu, pp. 93.
- Trewavas, A. 2001. Urban myths of organic farming. Nature: 410.
- Weil, R.R. 1982. Maize–weed competition and soil erosion in unweeded maize. – Tropical Agriculture (Trinidad), 59(3):207–213.
- Weisberger, D., Nichols, V., Liebman, M. 2019. Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. PLoS ONE 14(7): e0219847. DOI: 10.1371/journal.pone.0219847
- Woźniak, A., Soroka, M. 2022. Weed flora in crop rotation and winter wheat monoculture. – Spanish Journal of Agricultural Research, 20(2), e0301, eISSN: 2171-9292. DOI: 10.5424/sjar/2022202-18984

Changes in weed biomass, density and diversity in long-term crop rotation experiment during second rotation

Helena Madsen, Anne Luik, Viacheslav Eremeev, Erkki Mäeorg, Liina Talgre

Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia

Summary

Although the cropping systems had different effects on weed biomass, density and abundance within the specific crops, the main significant difference as an average of all rotation crops was revealed between conventional (Conv) and organic (Org) cropping systems. Changes in weediness during long-term rotations are often associated with different cultivation systems as they affect the growing conditions in the field (Saulic *et al.*, 2022). In conventional systems the herbicides had an effect on the abundance and biomass of weeds, which as a result were statistically significantly lower than in organic system treatments and the same tendency appeared in diversity, especially at the beginning of the rotation. Nevertheless, there were some differences due to the crop.

Barley and potato plots had the lowest weed biomass compared to other crops (Fig. 1 and 5). The weediness in potato plots was controlled mainly by mechanical intercropping and since potato was barley's pre-crop, it was probably affected by the aftereffect. Also, the chemical weed control and use of fertilizers kept the biomass and abundance of weeds in conventional barley systems significantly lower compared to organic systems (Fig. 1, Table 4). The use of winter cover crops in barley plots in Org I and Org II systems helped to increase the soil carbon content, which was accompanied by an increase in the activity of soil microorganisms (Kuht *et al.*, 2022a, b), that resulted in

increase of abundance, biomass and species diversity of weeds in organic systems.

There was no significant difference in weed abundance in organic potato systems, but intercropping had a significantly positive effect on species diversity compared to conventional systems (Fig. 5, Table 4). The abundance of weeds turned out to be the highest in system Conv 0 – it was twice as high as in the Conv II system and, as a clear trend, higher than in the organic systems as well. This could have been resulted from the dominance of some weed species, the lower nutrient content in the soil due to the lack of mineral fertilizers and the herbicides used for weed control (De Cauwer *et al.*, 2010; Rotchés-Ribalta *et al.*, 2017; Rotchés-Ribalta *et al.*, 2020). Weed diversity based on the S-W index was the lowest at the beginning of the rotation, while there was an increase of the index by the end of the rotation (Table 4). Many authors have highlighted that the use of herbicides affects the balance between species in communities, reducing the diversity of herbicide-sensitive species while favouring the resistant species (Bärberi *et al.*, 1998; Squire *et al.*, 2000; Robinson, Sutherland, 2002; Hawes *et al.*, 2010; Ryan *et al.*, 2010; José-María, Sans, 2011; Rotchés-Ribalta *et al.*, 2017).

Clover does not grow well with large mineral N fertilization rates and that emptied the areas for weeds in Conv II. In winter wheat plots the biomass of weeds was significantly lower in conventional systems than in all of the organic systems. Abundance of weeds was significantly higher in Org 0 and there was a slight weed oppressing due to the aftereffect of winter cover crops in Org I and Org II.

In winter wheat the system Conv 0 had higher abundance and lower diversity of weeds at the beginning of the rotation (Fig. 3, Table 4), which indicates the dominance of certain species. During the rotation, the diversity increased in both conventional systems, but remained lower than that of organic systems. In their paper Woźniac and Soroka (2022) mentioned that crop rotation favours the biodiversity and reduces the dominant weed species in the field, thus promoting the growth of cultivated crops. Weed biomass in organic systems reliably exceeded that of the conventional systems, while the abundance of weeds also tended to be higher. By the end of the rotation, all organic system winter wheat plots exceeded conventional systems in diversity. Red clover had beneficial effects on the soil properties in organic systems (Kuht *et al.*, 2020) and this provided better nutritional conditions for weeds as well. Soil activity was inhibited with pesticides in conventional systems (Luik *et al.*, 2017), hence the nutrients essential to plants were not released as fast. Also, the increased soil acidity reduced their uptake.

Among all the rotational crops – the pea plots had the highest weed biomass, abundance and diversity in all systems. Pea, as a legume crop, enriched the soil with nitrogen, which supported the growth of crop as well as weed plants. As pea is not a weed suppressive crop, all organic systems had significantly higher weed biomass than conventional ones. However, slight tendencies showed that systems with cover crops (Org I and Org II) had decreased abundance and diversity of weeds at the end of the rotation.

The higher abundance and diversity of weeds in system Conv 0 (Fig. 7), where the soil was depleted of nutrients, indicates that the weed suppression effect by crop plants was low. Several studies have found that certain types of weeds may adapt to soil with lower nutrient content and pesticides (De Cauwer *et al.*, 2010; Rotchés-Ribalta *et al.*, 2017; Rotchés-Ribalta *et al.*, 2020). In system Conv II the biomass of weeds was higher, but the abundance and diversity were lower, probably due to high fertilization rates, which supplied both cultivated and weed plants with nutrients, while certain weed species, for which the conditions were not suitable, were suppressed (Fig. 6, 7). Although it has been found that the diversification of the crop rotation (e.g. winter cover crops), regulates the weediness (Weisberger *et al.*, 2019), the expected inhibitory effect of the intercrops used in organic systems (Org I) and their interaction with manure (Org II) was not manifested on the biomass and abundance of weeds. However, the diversity was higher in organic systems than in conventional systems and at the end of the rotation it was the highest in system with winter cover crops (Org I; Fig. 7). The aforementioned effect could be explained by the more favourable growing conditions in organic systems, where there were no chemical disturbances, and the soil properties were better than in conventional systems. Soils in organic systems had higher total nitrogen and organic carbon content, lower acidity and better water permeability than in conventional systems (Luik *et al.*, 2014; Talgre *et al.*, 2019; Kuht *et al.*, 2022 a, b). Weeds are not always associated with higher yield losses (Cooper *et al.*, 2016). It is known that a certain weed population can be ecologically beneficial to a crop as it provides food and habitat for many organisms supporting the functioning of the field as an ecosystem (Marshall *et al.*, 2003, Bretagnolle, Gaba, 2015; Eraud *et al.*, 2015; Rollin *et al.*, 2016).

All in all, further research is necessary to find optimal solutions for weed control in organic systems. The hypothesis of the work was confirmed, because in the long-term crop rotation experiment compared to the first rotation, the biomass, abundance, and diversity of weeds increased depending on the crop and the cultivation system, while the effect of the latter was more significant.



KLIIAMUUTUSTEGA SEOTUD KOHANEMISMEETMETE RAKENDAMINE PÕLLUMAJANDUSETTEVÕTETES

IMPLEMENTATION OF ADAPTATION MEASURES RELATED TO CLIMATE CHANGE IN AGRICULTURAL ENTERPRISES

Krista Nurk¹, Maire Nurmet²

¹Maaelu Teadmuskeskus, seemnekeskuse osakond, J. Aamisepa 1, 48309, Jõgeva

²Eesti Maailikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut, maamajanduse ökonoomika õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu

Saabunud: 5.12.2022
Received:
Aktsepteeritud: 29.06.2023
Accepted:
Avaldatud veebis: 30.06.2023
Published online:
Vastutav autor: Krista Nurk
Corresponding author:

E-mail: krista.nurk@metk.agri.ee

ORCID:
0000-0001-6512-4838 (KN)
0000-0001-8644-1488 (MN)

Keywords: risk factors in
agricultural production, climate
change, adaption measures.

DOI: 10.15159/jas.23.06

ABSTRACT. Agriculture is facing severe changes due to climate change and extreme weather events. Attention to climate change has been highlighted in the Common Agricultural Policy, the issue of risk management. Implementation of risk management methods among farmers who make their everyday business decisions in uncertainty, is part of decision making, and depends on the farmers experience and knowledge. This paper aims to find out the assessments of Estonian farmers about the risk factors arising from climate change and the importance of coping adaption measures to climate change. Data from a web-based questionnaire survey of questions with structured statements on perception of production risk and adaption measures were analysed. The main results showed that perception of production risk differed by farmers' age, geographical area and farm sizes. Relevant risk management practices were different according to farm annual revenue, geographical area and the age of a farmer. The results could be used by agricultural policy makers. Future policies for the agricultural sector are elemental to ensure success in farm-scale implementation. Based on this study it could be further explored risk management practices, which are already used by farmers. It is important because climate change and extreme weather events are increasing, and risk management practices are needed for adaptation.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Keskkond ja kliimamuutused kätkevad endas ohtu kasvava rahvastiku muutuvatele toitumisharjumustele. Ulatuslikumate ja intensiivsemate ilmastikunähtustega ning ekstreemsete ilmastikuolude sagenemisega (Toreti jt, 2019a,b) kaasnevad tootmis- ja saagikaod toovad kaasa volatiilsemad toiduhinnad ja muutused globaalsel toiduturul, ohustades toiduga varustatust (Chatzopoulos jt, 2019; Toreti, Perez-Dominguez, 2019). Seetõttu on ka ohustatud kogu majanduse toimimine tervikuna, sest põllumajandus on tihedalt lõimunud teiste tootmisharudega, näiteks tööstus- ja teenindussektoriga (Adnan jt, 2020).

Muutuvad keskkonna- ja kliimaolud on pälvinud poliitikakujundajate tähelepanu. Euroopa ühise põllumajanduspoliitika (ÜPP) strateegiakavas aastateks 2023 kuni 2027 on eesmärgina välja toodud keskkonnanahoiu ja kliimameetmete edendamine vastupidava

ja mitmekesise põllumajandussektori kaudu, et kindlustada inimeste toiduga varustatus (Ühise põllumajanduspoliitika..., 2021). Selle eesmärgi saavutamiseks on ÜPP strateegiakavas välja toodud poliitikameetmed riigi tasandil, mida praktiliselt hakkavad ellu viima põllumajandustootjad, kes on ettevõtjatena nende eesmärkide täitmisega otseselt ja igapäevaselt seotud ning kellel tuleb otsuseid teha muutuvates tingimustes. Probleem, kuidas põllumajandustootjad suudavad kohaneda üheaegselt nii kliimamuutustega kui ka toime tulla hinnakõikumistega turgudel, tarbimisharjumuste muutustega ning põllumajandus- ja keskkonnapolitiikast tulenevate nõuetega, taandub igapäevase tootmise planeerimise ja äritegevusega seotud otsuste tegemisele. Suures plaanis mõjutavad need otsused kogu põllumajandussektori toimimist. Oluline on mõista tootjate valmisolekut ja teadlikkust võimalikest kohanemismeetmest vähendamaks riskitegurite nega-



tiivset mõju tootmises (Sulewski jt, 2020). Kliimamuutustest tulenevad riskitegurid ning üksiktootja kohanemismeetmed võivad erineda piirkonniti. Rohkem on riskitegureid ning võimalikke kohanemismeetmeid ettevõtte tasandil uuritud suuremates lõunapoolsetes riikides, kuid Eestis mitte.

Selle uurimuse eesmärk on selgitada Eesti põllumajandustootjate hinnangud riskiteguritele ja vastavate kohanemismeetmete olulisusele.

Artiklis kaardistatakse põllumajandustootjate hinnangud riskiteguritele ja tuuakse välja kohanemismeetmete positiivsed ja negatiivsed tahud.

Materjal ja meetodika

Kliimamuutustest tingitud ohtude ja võimaluste ning võimalike kohanemismeetmete välja selgitamiseks analüüsiti põllumajandustootjate seniseid kogemusi erinevate riskiteguritega tootmistegevuses. Selleks koostati ja viidi läbi ankeetküsitlus, mis sisaldas ühelt poolt küsimusi kliimamuutuste ja ekstreemsete ilmastikuoludega kaasnevate spekulatiivsete riskide kohta, teiselt poolt võimalike meetmete rakendamise olulisuse kohta. Spekulatiivsete riskidega on kliimamuutuste ja ekstreemsete ilmastikuolude raames tegemist sellepärast, et nähtustega kaasnev majanduslik tulemus võib olla oodatust negatiivsem või ka positiivsem. Tulemuse ulatus omakorda võib varieeruda sõltuvalt põllumajandusettevõtte tootmistüübist või geograafilisest asukohast. Küsimustiku koostamisel olid aluseks põllumajandusökonoomika valdkonna varasemad uuringud (Vollmer jt, 2017; Sulewski jt, 2020; Peltonen-Sainio jt, 2020; Wheeler, Lobley, 2021), milles on võetud arvesse mitmesuguseid riskitegureid põllumajandustootmises.

Küsimuste tüüp oli valdavalt valikvastustega ja skaaleeritud. Skaleeritud küsimuste puhul kasutati 5-palli Likerti skaalat, mis kajastab vastaja nõustumist või mittenõustumist etteantud väitega ja olulisuse hinnangut sellele. Esmaseid andmeid hinnangute kohta kliimamuutustest tulenevate riskitegurite ning kohanemismeetmete kohta koguti Eesti põllumajandustootjatel veebiküsitluskvaras QuestionPro kaudu. Küsimustiku täitmine oli anonüümne ja vastajad olid informeeritud, et saadud andmeid kasutatakse tulemuste avaldamisel üldistatud kujul.

Küsitluse valim moodustati Põllumajanduse Registre ja Informatsiooni Ameti (PRIA) koduleheküljel esitatud informatsiooni alusel 2021. aastal ühtse pindala-toetuse ning kliimat ja keskkonda säästvate põllumajandustavade toetust saanutest. Juhusliku valiku teel leiti 746 toetuse saanud põllumajandustootja meiliaadressid ja lisati nende tegevusala vastavalt Creditinfo Eesti AS andmebaasist saadud infole. Valimisse sattumise tõenäosus oli suurem neil ettevõtetel, mille tegevusala oli taime- ja/või loomakasvatus. Küsitlus viidi läbi 2022. aasta esimeses kvartalis.

Ankeetküsitlusega kogutud andmete sisestamine, korrastamine ja analüüsimine toimus andmetöötlusprogrammi MS Excel abil. Andmete kohta esitatakse kirjeldav statistika: aritmeetilised keskmised, standard-

hälbed ja protsentjaotised. Dispersioonanalüüsi tulemusena tuvastati statistiliselt oluliste erinevuste olemasolu. Gruppidevaheliste statistiliselt oluliste erinevuste kontrollimiseks tehti järeldused on tehtud 95% usaldusnivool ($p < 0,05$).

Tulemused

Küsitlusele vastas kokku 90 põllumajandusettevõtet 746st, mis teeb vastamismääraks 12%. Enim olid esindatud osaihingud (63% kõigist vastanutest) ja füüsilisest isikutest ettevõtjad (31%) ning vähem aktsiaseltsid (6%). Vastanutest 58% oli spetsialiseerunud taimekasvatusele ja 32% moodustasid taime- kui loomakasvatusega tegelevad ettevõtted. Valdavalt (92%) olid esindatud väiksemad, ühe kuni üheksa töötajaga ettevõtted. Vastanutest 39% kasutavad 101 kuni 500 hektarit haritavat maad, 31% vastajatest vähem kui 100 hektarit ning 17% üle 1001 hektari haritava maa.

Kliimamuutustest tingitud ohud ja võimalused Eesti põllumajandustootjate hinnangul

Eesti põllumajandustootjate hinnangul on tootmistegevust mõjutavatest kliimamuutustest tulenevate riskide realiseerumist esinenud. Tunnetatakse ka ekstreemsete ilmastikuoludega seotud nähtuste sagenemist. Fookuses olid kliimamuutustest tingitud ohud ja võimalused kliimamuutustest tulenevate riskide rakendamise võimalused. Kliimamuutustest tingitud ohtudena märkisid Eesti põllumajandustootjad enim põuaperioodidest põhjustatud kahjude suurenemist (keskmise 3,1 palli) (tabel 1). 37% vastajatest märkis, et on kogenud põuakahjusid aeg-ajalt ning 34%, et sageli. Teisena täheldasid põllumajandustootjad saagikuse varieeruvust (keskmise 3,0 palli). 47% olid kogenud seda aeg-ajalt ja 27% sageli. Vähem märgiti üleujutusest tingitud kahjude suurenemist (keskmise 1,9 palli), samuti pole tootjad kogenud taimekaitsevahendite kasutamise vajaduse suurenemist. Selles osas kogemus puudus 41% vastanutest ning harv kogemus oli 20% vastanutest. Ka kliimamuutustest tingitud ohtude mõju bioloogilisele mitmekesisusele, sh mullaelustiku populatsioonide ja tolmeldajate arvukuse vähenemisele, pigem ei täheldatud.

Kliimamuutustega kaasnevaid ohte hindasid kõrgemaks tootjad, kes harivad rohkem kui 1001 ha maad (keskmise 2,7 palli), kuid samas hindasid need tootjad suuremaks ka kliimamuutustest tingitud uute võimaluste tekkimist (tabel 2). Tootjad, kes kasutavad 501–1000 ha haritavat maad, hindasid kliimamuutuste mõju bioloogilisele mitmekesisusele madalamaks (keskmise 1,4 palli). Suhteliselt sarnane oli sellele ka taimekasvatusele spetsialiseerunud vastanute hinnang (keskmise 1,8 palli). Nad andsid kõrgema hinnangu kliimamuutustest tingitud uute võimaluste tekkimisele. Loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõtted hindasid kliimamuutustest tingitud ohte, võimalusi ja mõju bioloogilisele mitmekesisusele madalamaks kui muude tootmistüüpide esindajad. Lõuna-Eesti tootjad hindasid kliimamuutustest tingitud ohte, võimalusi ja mõju bioloogilisele mitmekesisusele kõrgemaks võrreldes muude regioonide esindajatega. Ida-Eestis tegutsevad tootjad hindasid kliimamuutustest tingitud mõju bioloogilisele mitmekesisusele madalamaks (keskmise 1,4 palli). Vanemad tootjad

(vanuses 71–80) hindasid nii ohte, võimalusi kui ka keskussele väiksemaks võrreldes noortega (20–30 kliimamuutustest tingitud mõju bioloogilisele mitme- aastased), kelle hinnangul need kõik on suuremad.

Tabel 1. Põllumajandustootjate (n = 90) kogemus (skaala1–5 palli) tootmises esinenud kliimamuutuste ja ekstreemsete ilmastikunähtustega kaasnevate ohtude ja võimalustega

Table 1. Farmers' (n = 90) experience (scale 1–5 points) with the risks and opportunities of climate change and extreme weather events in production

Kategooria Characteristics	Üldse ei ole kogenud Not at all (1)	Harva kogenud Rarely (2)	Aeg-ajalt kogenud Occasionally (3)	Sageli kogenud Frequently (4)	Pidevalt kogenud All the time (5)	Keskmine, palli Average, points	Stddev
Võimalikud kliimamuutuste kahjulikud mõjud / Harmful impacts of climate change:	Hinnangu jaotus / Distribution, %						
Põllukultuuride saagikuse suurem varieeruvus / Increased annual yield variation	12	11	47	27	3	3,0	1,01
Halvenenud saagi kvaliteet / Reduced quality of yield	21	21	46	10	2	2,5	1,01
Taliviljade kahjustuste suurenemine / Increased winter damage in winter crops	28	26	32	12	2	2,4	1,08
Põua tekitatud kahjude suurenemine / Increased damage caused by drought	12	12	37	34	4	3,1	1,07
Tugevate sademete poolt tekitatud kahjude suurenemine Increased damage caused by heavy rains	17	29	34	16	4	2,6	1,08
Üleujutustest tingitud kahjude suurenemine Increased damage caused by flooding	41	39	14	4	1	1,9	0,91
Herbitsiidide kasutamise vajaduse suurenemine Increased need to control weeds	42	24	26	8	0	2,0	1,00
Insektitsiidide kasutamise vajaduse suurenemine Increased need to control pests	41	20	29	9	1	2,1	1,08
Fungitsiidide kasutamise vajaduse suurenemine Increased need to control plant diseases	42	19	26	12	1	2,1	1,13
Metsloomade tekitud kahjude suurenemine Increased damage caused by wild animals	22	27	21	18	12	2,7	1,33
Kliimamuutustest tingitud uued võimalused:							
New opportunities driven by climate change:							
Põllukultuuride saagikuse suurenemine / Increased yields	18	21	44	16	1	2,6	0,99
Taimekasvatuse perioodi pikenemine / Longer growing season	13	32	33	19	2	2,6	1,01
Taimekasvatuse perioodi varasem algus / Earlier onset of crop growth	8	30	42	17	3	2,8	0,93
Koristuse perioodi varasem algus / Earlier maturation of yield	8	26	47	19	1	2,8	0,88
Paranenud tingimused sügiskülviks / Improved opportunities for autumn sowing	16	33	33	16	2	2,5	1,01
Suurenenud uute sortide, kultuuride ja/või tõugude kasutamine Increased usage of novel crops and cultivars/breeds	22	24	33	18	2	2,5	1,09
Suurenenud hilisemate sortide ja/või kultuuride osatähtsus külvikorras Increased usage of late varieties and cultivars in crop rotation	41	32	19	7	1	1,9	0,99
Suurenenud taliviljade osatähtsus külvikorras Increased winter crops importance in crop rotation	27	11	20	31	11	2,9	1,39
Mõju bioloogilisele mitmekesisusele / Impact to biodiversity:							
Tolmeldajate arvukuse vähenemine põldudel / Reduced population of pollinators	42	27	20	7	4	2,0	1,14
Mullaelustiku ja mikroobide populatsioonide vähenemine Reduced populations of soil fauna and microbial flora	42	28	19	9	2	2,0	1,09

Tabel 2. Põllumajandustootjate (n = 90) kogemus (skaala1–5 palli) tootmises esinenud kliimamuutuste ja ekstreemsete ilmastikunähtustega kaasnevate ohtude ja võimalustega haritava maa, tegevusala, asukoha ja vanuse lõikes

Table 2. Farmers' (n = 90) experience (scale 1–5 points) of the risks and opportunities posed by climate change and extreme weather events in production by land, area of activity, location and age

Kategooria Characteristics	Ohud Harmful impacts	Võimalused Opportunities	Mõju bioloogilisele mitmekesisusele Impact to biodiversity
Haritav maa pindala, ha: / Farm size, ha:			
< 100	2,4	2,4	2,1
101–500	2,4	2,6	2,1
501–1000	2,3	2,5	1,4
> 1001	2,7	2,9	2,2
Tegevusala: / Farm type:			
Taimekasvatuse / Crop production	2,6	2,8	1,8
Loomakasvatuse / Livestock production	1,8	1,7	1,3
Taime- ja loomakasvatuse / Mixed crop and livestock production	2,5	2,6	2,2
Asukoht: / Location:			
Põhja-Eesti / North Estonia	2,4	2,6	1,9
Lääne-Eesti / West Estonia	2,3	2,5	1,9
Ida-Eesti / East Estonia	2,4	2,8	2,1
Kesk-Eesti / Middle Estonia	2,0	2,0	1,4
Lõuna-Eesti / South Estonia	2,6	2,7	2,3
Tootja vanus: / Farmer's age:			
20–30 aastat / years	2,8	2,8	2,3
31–40 aastat / years	2,6	2,7	1,8
41–50 aastat / years	2,4	2,5	1,9
51–60 aastat / years	2,4	2,6	2,1
61–70 aastat / years	2,2	2,6	2,3
71–80 aastat / years	2,0	2,1	1,6

Kliimamuutustega seotud kohanemismeetmed põllumajandusettevõtete tootmispraktikas

Tootjate senise kogemuse baasil antud hinnangute kaardistamine riskiteguritega kohanemismeetmete olulisusest annab aimu nende valmidusest antud meetmeid praktikas rakendada.

Põllumajandustootjad pidasid riskitegurite kohanemismeetmena olulisimaks külvikorra planeerimist ja järgimist (keskmine 4,2 palli) ning külvikorra mitme-

kesistamist (keskmine 4,0 palli), mis mõlemad kuuluvad mitmekesisuse soodustamise meetmete kategooriasse (tabel 3). Külvikorra planeerimist ja järgimist pidasid väga oluliseks 51% ja oluliseks 33% vastanutest. Külvikorra mitmekesistamist pidasid väga oluliseks 38% ja oluliseks 41% vastanutest. Talvise taimkatte olemasolu pidasid oluliseks 50% ja väga oluliseks 20% tootjatest. Orgaanilise aine suurendamise tähtsusele mullas kui meetmena kliimamuutustega kohanemisel anti kõrge, keskmiselt 4,1- palline hinnang.

Tabel 3. Põllumajandustootjate (n = 90) hinnang (skaala1–5 palli) kliimamuutustega seotud kohanemismeetmete
Table 3. Farmers' (n = 90) assessment of risk (scale 1–5 points) management measures for adaptation to climate change

Kategooria Characteristics	Üldse ei ole oluline Unimportant (1)	Pigem ei ole oluline Quite unimportant (2)	Nii ja naa Neither nor(3)	Pigem oluline Quite important (4)	Väga oluline Important (5)	Keskmine, palli Average, point	Stdev
Mulla parendamise meetmed: / Maintaining and improving soil conditions:							
Mullaelastiku soodustamine / Maintaining diverse soil population	6	6	22	32	34	3,8	1,13
Orgaanilise aine sisalduse suurendamine / Mullas / Increasing organic matter in the soil	4	3	17	33	42	4,1	1,06
Drenaažisüsteemide rajamine / Construction of drainage system	9	9	23	40	19	3,5	1,16
Niisutusüsteemide rajamine / Implementation of irrigation system	16	24	40	17	3	2,7	1,04
Talvise taimkatte rajamine / Using winter cover crops	11	2	17	50	20	3,7	1,16
Mitmekesisuse soodustamise meetmed: / Diversification measures:							
Külvikorra planeerimine ja järgimine / Planning and following crop rotation	7	3	6	33	51	4,2	1,13
Külvikorra mitmekesistamine / Diversifying crop rotations	6	7	9	41	38	4,0	1,12
Uute sortide ja põllukultuuride kasvatamine / Cultivating novel crops and cultivars	7	12	27	40	14	3,4	1,09
Sertifitseeritud seemne kasutamine / Using certified seed	10	11	19	37	23	3,5	1,25
Põlluaarte niitmata jätmine / Leaving patches between field parcels	17	16	49	12	7	2,8	1,08
Taimede toitumise meetmed: / Managing crop nutrition:							
Püüniskultuuride kasvatamine / Trap-cropping	8	21	43	22	6	3,0	0,99
Lämmastikku siduvate kultuuride / kasvatamine / Cultivating N-fixing crops	8	6	12	49	26	3,8	1,13
Fosforväetiste suurem kasutamine / Increasing P rates	16	13	48	19	4	2,8	1,05
Lämmastikväetiste suurem kasutamine / Increasing N rates	16	13	47	19	6	2,9	1,08
Täppisväetamine / Precise and split use of fertilizers	12	4	22	36	26	3,6	1,26
Mullaharimise meetmed: / Soil incorporation methods:							
Minimeeritud mullaharimine / Using reduced tillage	10	9	33	38	10	3,3	1,09
Sügisese mullaharimise jätmine kevadesse / Shifting from autumn to spring tillage	16	27	39	16	3	2,6	1,03
Täppiskülvamine / Using direct drilling	13	4	18	44	20	3,5	1,25

Vähem tähtsaks hinnatakse kohanemismeetmena aga põlluaarte niitmata jätmist (keskmine 2,8 palli) ja sügisese mullaharimise jätmist kevadesse (keskmine 2,6 palli).

Kohanemismeetmetest hindasid kõrgemat aastast müügitulu teenivad ettevõtted (500 001–1 000 000 €) tähtsamaks mulla parendamise (keskmine 4,1 palli) ja taimede toitumisega seotud meetmeid (keskmine 3,7 palli) (tabel 4). Mulla harimisega seotud meetmete hinnang oli kõikidest hinnatud meetmetest madalaim. Mitmekesisuse soodustamise meetmeid pidasid oluliseks ettevõtted, mis teenivad 100 001–500 000 € müügitulu aastas. Tegevusaladest hindasid taime- ja loomakasvatuse ettevõtted olulisemaks mulla parendamise meetmeid (keskmine 3,7 palli). Ida-Eesti ettevõtted pidasid olulisemaks mulla parendamise (keskmine 4,0 palli) ja mitmekesisuse soodustamise meetmeid (keskmine 3,9 palli), samas, kui Kesk-Eesti toot-

jad ei pidanud eriti oluliseks taimede toitumise (keskmine 2,8 palli) ja mulla harimise (keskmine 2,9 palli) meetmeid. Tootjad, kelle vanus jäi vahemikku 31–40 aastat, hindasid kõiki nelja koondmeedet olulisemaks kui muudesse vanuserühmadesse kuuluvad põllumajandustootjad. Tootmisriskide juhtimises hinnati olulisemaks praktikas uute tootmistehnoloogiate kasutuselevõttu (keskmine 3,7 palli) ja valmidust võtta ärisriske (keskmine 3,5 palli) (tabel 5). Uute tootmistehnoloogiate kasutuselevõttu pidasid pigem oluliseks 41% ja kindlasti oluliseks 21% vastajatest. Äririskide võtmist pidasid pigem oluliseks 41% ja väga oluliseks 11%. Ettevõtte tootmisriskide juhtimise praktikatest hindasid kõrgemalt uute tootmistehnoloogiate kasutuselevõttu ja valmidust võtta ärisriske tootjad, kellel on harida maad üle 1001 ha (tabel 6). Aastase müügituluga alla 100 000€ tootjad pidasid olulisemaks laenude võtmise vältimist (keskmine 3,4 palli).

Tabel 4. Põllumajandustootjate (n = 90) hinnang (skaala 1–5 palli) erinevatele toimetuleku meetmetele müügitulu, tegevusala, asukohta ja vanuse lõikes**Table 4.** Farmers' (n = 90) assessment (scale 1–5 points) of different coping measures in adapting to climate change by annual revenue, area of activity, location and age

Kategooria/ Characteristics	Mulla parendamine Soil improving	Mitmekesisuse soodustamine / Diversifying	Taimede toitumine Crop nutrition	Mullaharimine Soil incorporation
Müügitulu, € aastas⁻¹: / Annual revenue, € year⁻¹:				
< 100 000	3,5	3,5	3,1	3,0
100 001–500 000	3,6	3,8	3,3	3,3
500 001–1 000 000	4,1	3,6	3,7	3,3
> 1 000 001	3,4	3,3	3,1	3,2
Tegevusala: / Farm type:				
Taimakasvatus / Crop production	3,5	3,6	3,3	3,2
Loomakasvatus / Livestock production	3,2	3,1	2,4	2,7
Taime- ja loomakasvatus / Mixed crop and livestock production	3,7	3,6	3,3	3,2
Asukoht: / Location:				
Põhja-Eesti / North Estonia	3,3	3,7	3,3	3,1
Lääne-Eesti / West Estonia	3,4	3,4	3,0	3,0
Ida-Eesti / East Estonia	4,0	3,9	3,3	3,7
Kesk-Eesti / Middle Estonia	3,1	3,2	2,8	2,9
Lõuna-Eesti / South Estonia	3,8	3,7	3,4	3,3
Tootja vanus, aasta: / Farmer's age, years:				
20–30	3,5	3,7	3,3	3,1
31–40	4,0	3,8	3,6	3,4
41–50	3,6	3,7	3,1	3,1
51–60	3,4	3,5	3,1	3,1
61–70	3,3	3,4	3,0	3,0
71–80	3,4	3,5	3,1	3,3

Tabel 5. Põllumajandustootjate (n = 90) hinnang (skaala 1–5 palli) erinevatele ettevõtte tootmisriskide juhtimise praktikatele**Table 5.** Farmers' (n = 90) assessment (scale 1–5 points) of different enterprise's production risk management practices

Kategooria/ Characteristics	Üldse ei ole oluline Unimportant (1)	Pigem ei ole oluline Quite unimportant (2)	Nii ja naa Neither nor (3)	Pigem oluline Quite important (4)	Väga oluline Important (5)	Keskmine, palli Average, point	Stdev
Väited: / Type of statement:							
Olen valmis võtma ärisriske / I'm ready to take business risks	1	9	38	41	11	3,5	0,85
Ma väldin laenude võtmist / I avoid taking loans	17	24	25	22	12	2,9	1,28
Ma hea meelega kasutan uusi tootmistehnoloogiasid / I implement new productions technologies	1	8	29	41	21	3,7	0,92
Ma eelistan kitsale tootmissuunale spetsialiseerumist I accept a narrow production specialization on the farm	12	23	39	22	4	2,8	1,05

Tabel 6. Põllumajandustootjate (n = 90) hinnang (skaala 1–5 palli) erinevatele ettevõtte tootmisriskide juhtimise praktikatel ettevõtte müügitulu, tegevusala ja haritava maa pindala lõikes**Table 6.** Farmers' (n = 90) assessment (scale 1–5 points) of different enterprise's production risk management practices by annual revenue, area of activity and farm sizes

Kategooria Characteristics	Valmidus võtta ärisriske Willingness to take business risks	Laenude vältimine Avoiding loans	Uute tehnoloogiate kasutuselevõtt Use of new technologies	Kitsale tootmis- suunale spetsiali- seerumine Specialization of narrow production type
Müügitulu, € aastas⁻¹: Annual revenue, € year⁻¹:				
< 100 000	3,4	3,4	3,5	2,9
100 001–500 000	3,5	2,6	3,9	2,8
500 001–1 000 000	3,8	2,6	3,9	3,1
> 1 000 001	3,8	1,9	4,1	2,6
Tegevusala: / Farm type:				
Taimakasvatus / Crop production	3,5	2,7	3,6	3,0
Loomakasvatus / Livestock production	3,8	3,8	4,0	2,8
Taime- ja loomakasvatus / Mixed crop and livestock production	3,5	2,9	3,8	2,5
Haritava maa pindala, ha: / Farm size:				
< 100	3,4	3,4	3,4	2,9
101–500	3,6	2,8	3,9	2,9
501–1000	3,4	2,8	3,5	2,3
> 1001	3,7	2,3	4,2	2,9

Olukorras, kus ettevõtte senine müügitulu väheneks 20%, rakendaksid Eesti põllumajandusettevõtjad praktikas investeerimismahu piiramist ehk teisisõnu vähendaksid tulevase kasvu edendamise huvides tehtavaid investeeringuid (keskmine 3,4 palli). Vastanute jaotusest nähtub, et 28% vastanute hinnangul on oluline müügitulu vähenedes investeeringute mahtu piirata ja 14% vastanute hinnangul on koguni väga oluline müügitulu vähenedes investeeringute mahtu piirata (tabel 7). Samas olukorras põllumajandustoodangu suurendamise olulisuse hindeks kujunes keskmiselt 3,2

palli ning ka seda pidas oluliseks ja väga oluliseks kokku 40% vastanutest. Tootmissuundadest teeksid müügitulu vähenedes investeeringute mahu piiramise otsuse enam taimekasvatusega seotud tootjad (tabel 8). Sama selgus ka tootjate suurusgruppides, vastavalt müügituluga alla 100 000 euro ja müügituluga 500 000–1000 000 eurot. Need tootjad vähendaksid oma investeeringute eelarvet juhul, kui müügitulu kahaneks. Vastanute soolise jaotuse alusel tuli välja, et kui ettevõtte müügitulu peaks langema alla 20%, siis põllumajandustoodangu suurendamine oleks naissoost vastanute jaoks olulisem kui meessoost vastanutele.

Tabel 7. Põllumajandustootjate (n = 90) hinnang (skaala 1–5 palli) erinevatele ettevõtte tootmisriskide juhtimise praktikatele olukorras, kui ettevõtte senine müügitulu langeks 20%

Table 7. Farmers' (n = 90) assessment (scale 1–5 points) of different enterprise's production risk management practices in a situation where the current annual revenue would fall by 20%

Kategooria/ Characteristics	Üldse ei ole oluline Unimportant (1)	Pigem ei ole oluline Quite unimportant (2)	Nii ja naa Neither nor (3)	Pigem oluline Quite important (4)	Väga oluline Important (5)	Keskmine, palli Average, point	Stdev
Väited: / Type of statement:	Hinnangute jaotus / Distribution, %						
Suurendaksin põllumajandustoodangut / Increasing the scale of production	3	19	38	31	9	3,2	0,97
Loobuksin tootmistegevusest / Giving up farming	23	22	37	16	2	2,5	1,08
Lisaksin mittepõllumajanduliku tegevuse (nt lumelükkamine) / Developing off-farm business	12	18	40	24	6	2,9	1,07
Teeksin väiksemamahulisi investeeringuid / Decreasing investment expenditures	8	7	43	28	14	3,4	1,06

Tabel 8. Põllumajandustootjate (n = 90) hinnang (skaala 1–5 palli) erinevatele ettevõtte tootmisriskide juhtimise praktikatele olukorras, kui ettevõtte senine müügitulu langeks 20% müügitulu, tegevusala ja soo lõikes

Table 8. Farmers' (n = 90) assessment (scale 1–5 points) of different enterprise's production risk management practices in a situation where the current annual revenue would fall by 20% by annual revenue, area of activity and gender

Kategooria Characteristics	Põllumajandustoodangu suurendamine Increasing the scale of production	Tootmistegevusest loobumine Giving up farming	Mittepõllumajanduslik lisategevus Developing off-farm business	Väiksema-mahulised investeeringud Decreasing investment expenditures
Müügitulu, € aastas⁻¹: / Annual revenue, €year⁻¹:				
< 100 000	3,1	2,7	3,1	3,5
100 001–500 000	3,5	2,2	2,7	3,2
500 001–1 000 000	2,8	2,5	2,8	3,5
> 1 000 001	3,4	2,7	3,1	3,2
Tegevusala: / Farm type:				
Taimekasvatuse / Crop production	3,2	2,4	2,9	3,5
Loomakasvatuse / Livestock production	3,3	2,7	3,1	2,8
Taime- ja loomakasvatuse / Mixed crop and livestock production	3,2	2,6	3,0	3,3
Tootja sugu: / Farmer's sex:				
Naine / Female	3,7	2,6	2,9	2,9
Mees / Male	3,1	2,5	2,9	3,4

Arutelu

Kliimamuutustest tingitud ohtudena täheldasid Eesti põllumajandustootjad enim põuaperioodidest põhjustatud kahju suurenemist. Põuakahjusid on kogetud ka mujal maailmas – nii Suurbritannia kui Poola põllumajandustootjad on põuakahjustusi märkinud ühe olulise riskitegurina tootmistegevuses (Wheeler, Lobley, 2021, Sulewski jt, 2020). Põuakahjude peamised negatiivsed mõjud taimekasvatuse ettevõtetes avalduvad saagikaos ja kvaliteedi languses. Loomakasvatuses vähendavad põuaperioodid rohumaade saagikust, mis omakorda põhjustab söötiskulude tõusu (Wheeler,

Lobley, 2021). Nii Eesti kui ka Soome põllumajandustootjad pidasid märkimisväärselt oluliseks ohuks saagikuse varieeruvust, kuid Eesti tootjate poolt märgiti Soome tootjatega võrreldes vähem ülejutusest tingitud kahjude suurenemist (Peltonen-Sainio jt, 2020).

Riskiteguritega kohanemismeetmetena pidasid Eesti põllumajandustootjad olulisemateks külvikorra planeerimist ja järgimist ning külvikorra mitmekesistamist. Ka Soome põllumajandustootjad peavad neid meetmeid oluliseks (Peltonen-Sainio jt, 2020). Talvise taimkatte rajamise tähtsus Eestis avaldub pikas perspektiivis mullatervise üldise paranemisenä. Talvist taimkatet hindasid mulla tervise paranemist soodustavaks ja hästi toimivaks kliimamuutustega kohanemise meetmeks ka

Suurbritannia tootjad (Wheeler, Lobley, 2021). Orgaanilise aine suurendamine mullas on kliimamuutustega kohanemisel vajalik nii Eesti kui ka Soome tootjate hinnangul (Peltonen-Sainio jt, 2020).

Tootmisriskide juhtimisel hindasid Eesti tootjad oluliseks uute tootmistehnoloogiate kasutuselevõttu ja valmidust ärriskele kanda. Võrdlusena ettevõtte tootmisriskide juhtimise praktikatest selgus Poola tootjate hulgas läbi viidud küsitlusest, et 65% vastanute arvates on oluline kasutusele võtta uusi tootmistehnoloogiaid, kuid valmidust ärriskide kandmiseks oli vähem võrreldes Eesti põllumajandustootjatega. Poola vastajatest vaid 32% pidasid seda oluliseks. Juhul, kui tekiks olukord, kus müügitulu kahaneks 20%, vähendaks 66,7% Poola uuringus osalenuid tootjatest investeeringute mahtu. Seda on rohkem võrreldes Eesti tootjatega. Põllumajandustoodangu suurendamise vajadust pidasid oluliseks 29,7% Poola vastajatest (Sulewski jt, 2020), mida on Eesti tootjate hinnangutega võrreldes vähem. Nähtavasti tunnetavad Poola tootjad enam tootmisressursside piiratuse kitsendavat asjaolu.

Järeldused

Eesti põllumajandustootjad peavad kliimamuutustega kaasnevateks olulisemateks ohuallikateks põuda ja saagikuse suuremat varieeruvust. Tekkivate uute võimalustena nähakse taliviljade suuremat osatähtsust külvikorra ning varasemat taimekasvatuse- ja koristusperioodi algust. Tootmisriski tegurite tajumine põllumajandustootjate poolt on erinev, olenedes näiteks kasutuses olevast haritava maa suuruselt, geograafilisest asukohast ja tootja vanusest. Vaadet mulla parendamise, mitmekesistamise soodustamise ja taimede tootmise meetmete eelistamisele praktikas tuleks edaspidi diferentseerida vastavalt põllumajanduse tootmisüksuste geograafilisele asukohale. Samas, põllumajandustootjate hinnang mulla parendamise ja taimede tootmise soodustamise meetmetele erines vastavalt ettevõtja vanusele. Sellest tulenevalt peaks meetmete ja nende tõhususe kommunikeerimisel valima sobiva suhtluskanali ja -viisi. Nagu ka varasemad uuringud on näidanud, siis tuleb põllumajandustootjate hinnangul soodustada uute tootmistehnoloogiate kasutuselevõttu. Tootjate hinnang ohtude leevendamiseks finantsvõimenduse piiramisena onenes ettevõtte müügitulust ja haritava maa pindalast. See kinnitab, et väiksemate tootjate jaoks on tootmisriskidest tulenevate ohtude kandmine ettevõtte üldise riskitaseme tõusule tugevama tunnetatav ning nad reageerivad vastukaaluks konservatiivsema finantseerimisstruktuuri kujundamise kaudu. See toob perspektiivis kaasa ohu väikeste ettevõtete arengu pidurdumiseks ja konkurentsivõime kahanemiseks võrreldes suuremate tootjatega. Tootmisriskide realiseerumisel ja mõju ülekandumisel põllumajandusettevõtte müügitulu vähenemisse reageeritaks investeerimismahu vähendamisega.

Tänuavaldused

Käesolev artikkel valmis EV Haridus- ja teadusministeeriumi finantseerimisel. Artikli autorid tänavad

Eesti Maaülikooli ja EV Haridus- ja teadusministeeriumi.

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panused / Authors contributions

KN – uuringu kava ja planeerimine, andmete kogumine, analüüs ja interpretatsioon, käsikirja koostamine, ülevaatamine ja toimetamine / *study conception and design, acquisition of data, analysis and interpretation of data, drafting of manuscript, critical revision and approve the final manuscript.*

MN – uuringu kava ja planeerimine, käsikirja koostamine, ülevaatamine ja toimetamine / *study conception and design, drafting of manuscript, critical revision and approve the final manuscript.*

Kasutatud kirjandus

- Adnan, K.M.M., Ying, L., Ayoub, Z., Sarker, S.A., Menhas, R., Chen, F., Yu, M.M. 2020. Risk management strategies to cope catastrophic risks in agriculture: The case of contract farming, diversification and precautionary savings. – *Agriculture*, 10(351):1–16.
- Chatzopoulos, T., Pérez Domínguez, I., Zampieri, M., Toreti, A. 2019. Climate extremes and agricultural commodity markets: a global economic analysis of regionally simulated events. – *Weather and Climate Extremes*. DOI: 10.1016/j.wace.2019.100193.
- Iyer, P., Bozzola, M., Hirsch, M.M., Finger, R. 2020. Measuring Farmer Risk Preferences in Europe: A Systematic Review. – *Journal of Agricultural Economics*, 71(1):3–26.
- Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J., Kaseva, J. 2020. Winds of change for farmers: Matches and mismatches between experiences, views and the intention to act. – *Climate Risk Management*, 27:1–17.
- Sulewski, P., Was, A., Kobus, P., Pogodzińska, K., Szymańska, M., Sosulski, T. 2020. Farmers attitudes towards risk – an empirical study from Poland. – *Agronomy*, 10(1555):1–21.
- Toreti, A., Pérez Domínguez, I. 2019. Concurrent climate extremes and agricultural shocks – Science for Policy Brief, European Commission.
- Toreti, A., Belward, A., Pérez Domínguez, I., Naumann, G., Luterbacher, J., Cronie, O., Seguini, L., Manfron, G., Lopez-Lozano, R., Baruth, B., van den Berg, M., Dentener, F., Ceglar, A., Chatzopoulos, T., Zampieri M. 2019a. The exceptional 2018 European water seesaw calls for action on adaptation. – *Earth's Future* 7:652– 663. DOI: 10.1029/2019EF001170.
- Toreti, A., Cronie, O., Zampieri, M. 2019b. Concurrent climate extremes in the key wheat producing regions of the world. – *Scientific Report* 9:5393. DOI: 10.1038/s41598-019-41932-5.

- Wheeler, R., Lobley, M. 2021. Managing extreme weather and climate change in UK agriculture: Impacts, attitudes and action among farmers and stakeholders. – *Climate Risk Management*, 32:1–10.
- Vollmer, E., Hermann, D., Mußhoff, O. 2017. Is the risk attitude measured with the Holt and Laury task reflected in farmers' production risk? – *European Review of Agricultural Economics*, 44(3):399–424.
- Ühise põllumajanduspoliitika strateegiakava 2023–2027. 2021. Maaeluministeerium.
https://www.agri.ee/sites/default/files/content/arengu_kavad/upp-2021/upp-2021-terviktekst-2021-12-01.pdf (04.12.2021)

Implementation of adaptation measures related to climate change in agricultural enterprises

Krista Nurk¹, Maire Nurmet²

¹*Centre of Estonian Rural Research and Knowledge, Seed Centre, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva, Estonia*

²*Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Economics in Rural Economy, Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu, Estonia*

Summary

The need to implement measures to cope with climate change has been emphasized within the European Common Agricultural Policy (CAP), because agriculture will face serious changes in the future due to climate change and extreme weather events. For farmers, climate change is a source of uncertainty in making day-to-day business decisions. Decision making in such an environment is based on perceived risk and depends on farmers' experience and knowledge. This study fills a research gap on farmers' experience of coping with climate change threats and exploiting opportunities in the light of agricultural production risk factors.

The aim is to find out Estonian agricultural producers' assessments of risk factors resulting from climate change and their willingness to use climate change adaptation measures in practice.

The article maps the positive and negative aspects of agricultural companies' adaptation to climate change as threats and opportunities due to climate change according to the assessment of Estonian farmers and summarizes the most preferred environmental and climate change coping measures among agricultural producers. Through an online questionnaire, which included questions with structured statements about the perception of production risks and risk management measures, the currently most preferred options for farmers to cope with climate change adaptation were identified.

The results revealed that farmers' perception of production risk depended on their age, geographical area and farm size. The assessment of the importance of risk management practices depended on the annual income of the farm, the geographical area and the age of the farmers.

The results of the study offer the developers of agricultural policy applications input for the more precise development of implementation guidelines for environmental and climate measures at the enterprise level. The publication of the results of the study also contributes to the exchange of information between parties involved in risk management measures arising from climate change in agriculture.



QUANTITY OF COLOURING SUBSTANCE IN GRAPES AND RAISINS FROM SEEDLESS HYBRID FORMS WITH COLOURED GRAPE JUICE (*Vitis vinifera* L.)

Venelin Roychev¹, Neli Keranova²

¹Department of Viticulture, Faculty of Horticulture with Viticulture, Agricultural University, Plovdiv, Bulgaria

²Department of Mathematics and Informatics, Faculty of Economics, Agricultural University, Plovdiv, Bulgaria

Saabunud:
Received: 9.06.2022

Aktsepteeritud:
Accepted: 30.06.2023

Avaldatud veebis:
Published online: 15.08.2023

Vastutav autor:
Corresponding author: Neli Keranova

E-mail: nelikeranova@abv.bg

ORCID:
0000-0002-3938-748X (VR)
0000-0001-6050-6554 (NK)

Keywords: colouring substance, skins and grape juice, raisins, seedless colouring hybrid forms.

DOI: 10.15159/jas.23.02

ABSTRACT. A study of the amount of colouring substance in the skins and juice of grapes and raisins of seedless vine forms with coloured grape juice of six hybrid combinations was performed. It was found that most of the hybrid forms of all crosses were superior to the mother variety Alicante Bouschet in the amount of anthocyanins in the grape juice, and only a few ones have mathematically proven differences. Most of them do not differ from the parent variety in colour intensity and colour shade, as well as in the percentage of yellow, red and blue colour. The ‘Alicante Bouschet’ variety has a proven lower content of anthocyanins in the skins of grapes and raisins of several hybrid forms. There is a proven high or moderate positive correlation between the content of anthocyanins in the skins and the juice of the grapes and the intensity of the colour in the hybrid forms of most crosses. Approximately 47% of the increase in the intensity of the colour of the grape juice can be explained by an increase in the amount of anthocyanins, and only 27% of the reasons for the changes in the intensity of the colour of the grapes are due to factors that do not affect changes in the content of anthocyanins in them.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Introduction

The quantitative determination of the colouring substance of the different vine varieties with red skin of the grapes is important for their ampelographic characteristics and for oenological practice. It is known that their accumulation in the grapes depends on many factors – genotypic, physiological and environmental conditions. Anthocyanins are the most essential part of the colouring substance in grapes. They represent a large group of flavonoids that provide protection from solar radiation and UV radiation, have antioxidant action, protect against various pathogens, *etc.* (Fartzov *et al.*, 1993; Adams, 2006; Biniari *et al.*, 2020; Naiker *et al.*, 2020; Yan Du *et al.*, 2021).

Their location is in the vacuoles of the cells of the hypodermal layer of the skin of the grapes, but in the colouring varieties ‘Alicante Bouschet’, ‘Gran Noir’, ‘Saperavi’ and others – also in the cells of the juice and mesocarp of the grape. Anthocyanins are considered potential natural pigments that would replace synthetic

colouring in various foods (Riberean-Gayon, 1959; Kantarev, 1973; Kennedy, 2008; Olivares *et al.*, 2017; Fia *et al.*, 2021). By condensation with other flavonoids and phenols, they form more complex polymers that have a strong influence on the oenological characteristics of wines (Singleton, 1988).

In wine production, these pigments are a key factor determining its colour, and are extremely important for the looks of table grapes (Ferreira *et al.*, 2020; Vergana *et al.*, 2020). However, from an economic point of view, the data related to the production of seedless hybrid forms with red colour of the grape juice, suitable for fresh consumption and production of wines are particularly interesting. The aim of this study is to determine the technological and nutritional value of ‘Alicante Bouschet’ variety and seedless hybrid forms with coloured red juice of the grapes, by means of a comparative biometric characterization of the amount of colouring substance in their grapes. Such research into seedless hybrid forms with coloured grape juice is not found in the literature.



Materials and Methods

Characteristics of photometric analysis

The study used skins and juice from grapes and raisins of seedless hybrid forms with coloured grape juice (colouring) (F1), obtained as a result of sexual hybridization between the seed colouring vine variety – ‘Alicante Bouschet’ (P1) and the seedless (P2) – ‘Russalka 1’, ‘Kondarev 6’, ‘Beauty Seedless’, ‘Kondarev 10’, ‘Russalka 3’, ‘Russalka’. The grapes from the experimental vines were harvested at technological maturity (at 21–22% sugars), for three consecutive seasons. An average sample was collected in three replicates of 100 g of berries from the grapes of ‘Alicante Bouschet’ and each hybrid form in the different crosses at technological maturity. All indicators in the study were determined based on the analyses of dry skins and coloured juice. Anthocyanins in the skins of grapes and raisins were determined after preliminary extraction, and in the juice – directly, by photometry at a wavelength $\lambda = 520$ nm with a photocolorimeter “Specol” (Roychev *et al.*, 2020). The intensity of colouring is expressed by the optical density of the experimental samples, measured with a photocolorimeter at $\lambda = 420$ nm and $\lambda = 520$ nm. The following values are taken as peak levels for yellow colour – $\lambda = 420$ nm, for red – $\lambda = 520$ nm and for blue – $\lambda = 620$ nm.

Statistical methods

To prove the existing differences between the amounts of the individual components of the colouring substance in ‘Alicante Bouschet’ and the hybrid forms, single-factor analysis of variance and LSD-test at a level of statistical significance of 0.05 were applied. The correlations between the studied biochemical parameters were established by applying correlation analysis. Graphic images were constructed, visualizing the interaction between the amount of anthocyanins and the intensity of the colour of the juice and the skins. The compiled regression models present the established relations in an analytical form. The tools of MS Excel and IBM SPSS were used for the mathematical data processing.

Results and Discussion

The comparative evaluation of the content of anthocyanins in the grape juice shows that ‘Alicante Bouschet’ has statistically proven differences only with the hybrid form 29/27 from cross I, and 29/66 and 29/68 from cross II (Table 1).

Table 1. Comparative assessment of the colouring substance in the grape juice of ‘Alicante Bouschet’ and the studied seedless hybrid vine forms

Form	Anthocyanins mg dm ⁻³	Colour Intensity IC	Colour shade NO	Yellow %	Red %	Blue %
Alicante Bouschet	572.53	16.72	0.68	34.87	54.00	11.13
I – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka 1’						
29/13	737.04 n.s.	13.88 n.s.	0.66 n.s.	35.50 n.s.	56.86 n.s.	7.64 n.s.
29/24	602.01 n.s.	14.85 n.s.	0.66 n.s.	36.22 n.s.	56.42 n.s.	10.02 n.s.
29/27	748.92 *	22.79 n.s.	0.76 n.s.	36.45 n.s.	48.58 n.s.	14.97 n.s.
29/56	541.77 n.s.	10.19 *	0.79 n.s.	38.33 n.s.	49.40 n.s.	12.27 n.s.
29/57	633.64 n.s.	15.45 *	0.89 n.s.	38.71 n.s.	44.04 n.s.	17.25 n.s.
II – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Kondarev 6’						
29/62	405.13 n.s.	12.63 n.s.	0.67 n.s.	35.04 n.s.	53.84 n.s.	11.12 n.s.
29/66	313.39 *	8.39 *	0.77 n.s.	36.76 n.s.	48.31 n.s.	14.94 n.s.
29/68	1058.49 *	18.62 n.s.	0.57 n.s.	32.00 n.s.	57.38 n.s.	10.62 n.s.
III – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Beauty Seedles’						
30/2	534.31 n.s.	12.22 n.s.	0.65 n.s.	34.82 n.s.	55.27 n.s.	9.91 n.s.
30/3	823.64 *	14.62 n.s.	0.65 n.s.	35.26 n.s.	54.92 n.s.	9.82 n.s.
30/8	595.30 n.s.	13.95 n.s.	0.70 n.s.	35.09 n.s.	51.33 n.s.	13.58 n.s.
30/9	949.08 *	19.97 n.s.	0.60 n.s.	33.05 n.s.	55.83 n.s.	11.11 n.s.
30/10	469.80 n.s.	11.51 n.s.	0.73 n.s.	36.75 n.s.	51.74 n.s.	11.50 n.s.
30/24	585.86 n.s.	14.16 n.s.	0.79 n.s.	36.63 n.s.	48.07 n.s.	15.30 n.s.
IV – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Kondarev 10’						
31/9	633.97 n.s.	12.27 n.s.	0.55 n.s.	30.74 n.s.	57.91 n.s.	11.35 n.s.
31/22	655.12 n.s.	14.28 n.s.	0.94 n.s.	40.75 n.s.	43.58 n.s.	15.66 n.s.
31/26	316.74 *	11.39 n.s.	0.70 n.s.	35.39 n.s.	53.64 n.s.	9.97 n.s.
31/29	388.92 *	8.38 *	0.77 n.s.	37.79 n.s.	50.95 n.s.	11.27 n.s.
31/36	581.28 n.s.	17.19 n.s.	0.74 n.s.	36.61 n.s.	49.44 *	13.95 n.s.
31/40	867.46 *	18.36 n.s.	0.43 n.s.	28.38 n.s.	66.00 n.s.	5.62 n.s.
31/41	756.31 *	15.72 n.s.	0.79 n.s.	37.83 n.s.	48.29 n.s.	13.88 n.s.
V – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka 3’						
31/57	481.88 n.s.	12.54 n.s.	0.52 n.s.	29.44 n.s.	57.46 n.s.	13.10 n.s.
31/58	336.48 *	10.42 *	0.58 n.s.	28.68 n.s.	51.91 n.s.	19.41 n.s.
31/65	585.07 n.s.	11.96 n.s.	0.53 n.s.	29.45 n.s.	55.57 n.s.	14.98 n.s.
VI – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka’						
32/9	631.13 n.s.	12.94 n.s.	0.63 n.s.	32.91 n.s.	53.87 n.s.	12.88 n.s.
32/11	563.20 n.s.	11.88 n.s.	0.71 n.s.	32.71 n.s.	47.14 n.s.	20.18 *

n.s. – there are no proven differences in significance level 0.05, * – significant at $p < 0.05$

In cross III – 30/3 and 30/9 stand out with higher levels of anthocyanins, which determines the presence of statistical differences between them. In IV hybrid combination 31/26 and 31/29 are distinguished by proven lower values of this indicator, compared to the parent variety, and 31/40 and 31/41 – with higher than it. Only in 31/58 in the cross V the differences between the compared values were proved, as the hybrid form has a lower content of anthocyanins in the grape juice, and in the VI cross – there are no significant differences.

Most of the hybrid forms are superior to the parent variety in absolute values of this indicator. Most of

them do not differ from ‘Alicante Bouschet’ in the intensity of colour and colouring shade, as well as in the percentages of yellow, red and blue colour in the juice of the grapes.

According to the comparative assessment, ‘Alicante Bouschet’ has a proven lower content of anthocyanins in the skins of the grapes – 942.66 mg dm⁻³ from the hybrid forms 29/27 – 1513.18 mg dm⁻³ – I, 30/3 – 1372.97 mg dm⁻³ and 30/9 – 1578.48 mg dm⁻³ – III, 31/40 – 1549.66 mg dm⁻³ and 31/41 – 1498.58 mg dm⁻³ – IV (Table 2).

Table 2. Comparative assessment of the content of the colouring substance in the skins of grapes and raisins in ‘Alicante Bouschet’ and the studied seedless colouring hybrid vine forms

Form	Anthocyanins mg dm ⁻³	Colour Intensity IC	Colour Shade NO	Yellow %	Red %	Blue %	Raisins antho- cyanins mg/g
Alicante Bouschet	942.66	6.65	0.72	35.91	50.02	14.07	34.83
I – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka 1’							
29/13	1017.34 n.s.	5.28 n.s.	0.72 n.s.	33.87 n.s.	47.52 n.s.	18.61 n.s.	43.63 n.s.
29/24	821.14 n.s.	6.09 n.s.	0.56 *	33.36 n.s.	60.23 *	6.14 *	15.40 *
29/27	1513.18 *	7.79 n.s.	0.66 n.s.	33.37 n.s.	51.00 n.s.	15.63 n.s.	52.82 *
29/56	737.30 n.s.	3.65 n.s.	0.73 n.s.	34.11 n.s.	47.06 n.s.	18.83 n.s.	32.94 n.s.
29/57	910.52 n.s.	3.65 n.s.	0.68 n.s.	33.56 n.s.	49.35 n.s.	17.09 n.s.	30.84 n.s.
II – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Kondarev 6’							
29/62	1042.08 n.s.	6.42 n.s.	0.80 n.s.	37.14 n.s.	46.47 n.s.	24.20 *	33.16 n.s.
29/66	433.17 n.s.	2.39 *	0.83 *	37.43 n.s.	44.90 n.s.	17.67 n.s.	25.89 n.s.
29/68	1045.61 n.s.	6.30 n.s.	0.87 *	41.93 *	48.77 n.s.	9.30 n.s.	38.13 n.s.
III – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Beauty Seedless’							
30/2	995.23 n.s.	5.58 n.s.	0.75 n.s.	34.29 n.s.	45.74 n.s.	19.97 n.s.	39.28 n.s.
30/3	1372.97 *	7.03 n.s.	0.77 n.s.	35.84 n.s.	46.60 n.s.	17.57 n.s.	40.05 n.s.
30/8	1017.05 n.s.	5.70 n.s.	0.66 n.s.	32.79 n.s.	49.96 n.s.	17.24 n.s.	43.69 n.s.
30/9	1578.48 *	8.54 n.s.	0.67 n.s.	33.16 n.s.	50.03 n.s.	16.81 n.s.	43.74 n.s.
30/10	646.28 n.s.	3.76 n.s.	0.76 n.s.	35.44 n.s.	46.40 n.s.	18.16 n.s.	53.55 *
30/24	1150.43 n.s.	9.73 n.s.	0.84 *	37.22 n.s.	44.54 *	18.24 n.s.	56.75 *
IV – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Kondarev 10’							
31/9	801.57 n.s.	4.02 n.s.	0.73 n.s.	35.84 n.s.	49.25 n.s.	14.91 n.s.	58.84 *
31/22	1300.34 n.s.	9.07 n.s.	0.87 *	37.59 n.s.	43.32 *	19.09 n.s.	64.90 *
31/26	604.08 n.s.	5.08 n.s.	0.69 n.s.	34.32 n.s.	50.37 n.s.	15.32 n.s.	24.52 n.s.
31/29	818.53 n.s.	4.18 n.s.	0.77 n.s.	34.95 n.s.	45.11 n.s.	19.96 n.s.	42.82 n.s.
31/36	1003.23 n.s.	7.37 n.s.	0.85 *	38.67 n.s.	45.57 n.s.	15.75 n.s.	46.53 n.s.
31/40	1594.66 *	10.78 *	0.53 *	28.30 *	53.05 n.s.	18.64 n.s.	43.22 n.s.
31/41	1498.58 *	7.90 n.s.	0.69 n.s.	33.32 n.s.	48.36 n.s.	18.33 n.s.	45.65 n.s.
V – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka 3’							
31/57	922.78 n.s.	5.17 n.s.	0.75 n.s.	34.21 n.s.	46.10 n.s.	19.69 n.s.	51.25 *
31/58	817.35 n.s.	4.35 n.s.	0.70 n.s.	34.33 n.s.	49.06 n.s.	16.61 n.s.	33.94 n.s.
31/65	1262.05 n.s.	7.40 n.s.	0.71 n.s.	35.01 n.s.	49.64 n.s.	15.35 n.s.	39.31 n.s.
VI – ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka’							
32/9	1380.21 n.s.	8.16 n.s.	0.67 n.s.	35.05 n.s.	52.84 n.s.	12.11 n.s.	55.66 *
32/11	823.29 n.s.	4.54 n.s.	0.73 n.s.	35.84 n.s.	49.89 n.s.	14.27 n.s.	23.18 n.s.

n.s. – there are no proven differences in significance level 0.05, * – significant at p < 0.05

Hybrid forms predominate in which there are no proven differences with the parent variety, both in terms of colour intensity and the colouring shade, as well as in the percentages of yellow, red and blue colour.

In terms of the amount of anthocyanins in raisins, ‘Alicante Bouschet’ – 34.83 mg g⁻¹ is proven to be superior to 29/24 – 15.40 mg g⁻¹ and inferior to 29/27 – 52.82 mg g⁻¹ – I, 30/10 – 53.55 mg g⁻¹ and 30/24 – 56.75 mg g⁻¹ – III, 31/9 – 58.84 mg g⁻¹ and 31/22 – 64.90 mg g⁻¹ – IV, 31/57 – 51.25 mg g⁻¹ – V, 32/9 – 55.66 mg g⁻¹ – VI. In the other hybrid forms the colouring substance is close to that of the parent variety.

There is a significant positive relation (0.655) between the content of anthocyanins in the juice of the grapes and the intensity of the colour in the hybrid forms from the cross ‘Alicante Bouschet’ × ‘Russalka 1’ as well as negative one- with the percentage of red colour (-0.345), and in ‘Alicante Bouschet’ × ‘Kondarev 6’ there is a strong, positive correlation between anthocyanins in the juice and the colour intensity (0.735) and a weak positive correlation – with the red colour (0.338).

The forms of the hybrid combination ‘Alicante Bouschet’ × ‘Beauty Seedless’ are also characterized by a high positive correlation between anthocyanins in the juice and colour intensity (0.882), and in ‘Alicante

Bouschet' × 'Kondarev 10' and 'Alicante Bouschet' × 'Russalka 3' it is proven to be moderately positive (0.671 and 0.527). There is a moderate negative relation between the amount of anthocyanins in the juice and the blue colour in 'Alicante Bouschet' × 'Russalka 3' (−0.462) and 'Alicante Bouschet' × 'Russalka' (−0.446).

The content of anthocyanins in the skins of the grapes is in a very strong, positive relation with the colour intensity in all hybrid combinations: 'Alicante Bouschet' × 'Russalka 1' (0.836), 'Alicante Bouschet' × 'Kondarev 6' (0.998), 'Alicante Bouschet' × 'Beauty Seedless' (0.798), 'Alicante Bouschet' × 'Kondarev 10' (0.860), 'Alicante Bouschet' × 'Russalka 3' (0.987) and 'Alicante Bouschet' × 'Russalka' (0.995). There is a proven moderate positive relation in the red colour of the skins in 'Alicante Bouschet' × 'Kondarev' (0.571), 'Alicante Bouschet' × 'Russalka 3' (0.693) and 'Alicante Bouschet' × 'Russalka' (0.535). The correlation with the blue colour in 'Alicante Bouschet' × 'Russalka 3' (−0.446) and 'Alicante Bouschet' × 'Russalka' (−0.718) is negative.

Figure 1 shows the influence of anthocyanins on the colour intensity of the grape juice in all studied hybrid forms with the parent variety 'Alicante Bouschet'.

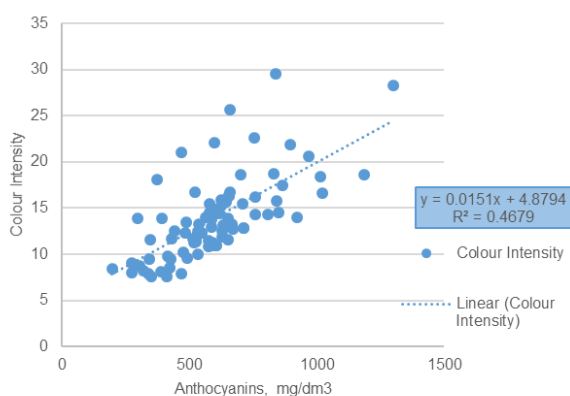


Figure 1. Influence of the content of anthocyanins in the juice of the grapes on the colour intensity in all studied seedless hybrid forms

Conclusions

The majority of the studied seedless colouring hybrid forms of all crosses are superior to the mother variety 'Alicante Bouschet' in the amount of anthocyanins in the juice of the grapes, and only a few differences are mathematically proven. Most of them do not differ from the parent variety in colour intensity and colour shade, as well as in the percentage of yellow, red and blue colour. The 'Alicante Bouschet' variety has a proven lower content of anthocyanins in the skins of the grapes than the hybrid forms 29/27, 30/3, 30/9, 31/40 and 31/41. Hybrid forms predominate in which there are no proven differences with the mother variety, both in terms of colour intensity and colour shade, and in the percentages of yellow, red and blue colour. The amount of anthocyanins in raisins is higher than 'Alicante Bouschet' in 29/27, 30/10, 30/24, 31/9, 31/22, 31/57 and 32/9. In the other hybrid forms the colouring

Both in the individual crosses and in the group analysis of the hybrid forms of all combinations, the intensity of the juice colour tends to increase in parallel with the increase in the amount of anthocyanins in it.

This is proved not only by the slope of the trend line, but also by the positive coefficient in front of the independent variable in the presented regression equation. Given the value of the coefficient of determination, it should be assumed that 47% of the change in the intensity of the colour of the grape juice can be explained by changes in the content of anthocyanins in it.

The relation between the content of anthocyanins in the skins of the grapes and the intensity of the colour in all studied hybrid forms was modelled by a linear regression equation (Figure 2). The coefficients prove the positive relation between these two indicators, which determines the beneficial effect of the high content of anthocyanins in the skins on the intensity of their colour. According to the calculated coefficient of determination, less than 27% of the dispersion of the intensity of the colour of the skins is explained by factors other than the anthocyanins in them.

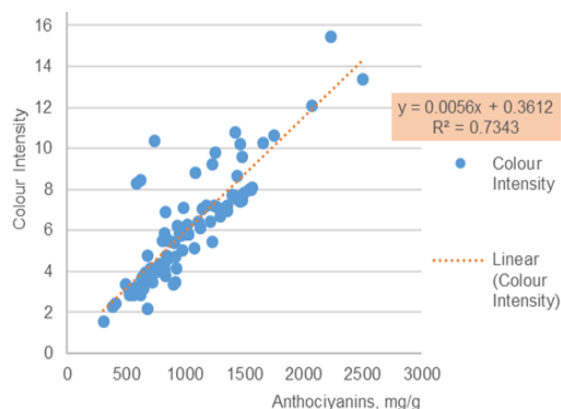


Figure 2. Influence of the content of anthocyanins in the skins of the grapes on the colour intensity in all studied seedless hybrid forms

substance is close to that of the mother parent variety. There is a proven high or moderate positive correlation between the content of anthocyanins in the juice of the grapes and the intensity of the colour in the hybrid forms of most crosses, and in some of them - negative or slightly positive between the anthocyanins and the red colour, and moderately negative with the blue colour. The amount of anthocyanins in the skins of the grapes is in a very strong, positive relation with the intensity of the colour in the seedless colouring forms of all hybrid combinations. Approximately 47% of the increase in the intensity of the colour of the grape juice in hybrid forms can be explained by an increase in the amount of anthocyanins. Only 27% of the reasons for the changes in the colour intensity in the skins of the grapes are due to factors which have no influence over the content of anthocyanins in them.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Authors contributions

Authors contributed equally to the manuscript.

References

- Adams, D. 2006. Phenolics and ripening in grape berries. – *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3):249–256.
- Biniari, K., Xenaki M., Daskalakis, I., Rusjan, D., Bouza, D., Stavrakaki, M. 2020. Polyphenolic compounds and antioxidants of skin and berry grapes of Greek *Vitis vinifera* cultivars in relation to climate conditions. – *Food Chemistry*, 30(1):125518. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125518
- Fartzov, K., Hadjuyski, L., Aljakov, M. 1993. Counter-radiation efficacy of Enoviton Granules produced from Cabernet sauvignon wine. – *Journal of Wine Research*, 4:119–124.
- Ferreira, S., Antonioli, A., Bottini, R., Fontana, A. 2020. Bioactive compounds and total antioxidant capacity of cane residues from different grape varieties. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100 (1):376–383.
- Fia, G., Bucalossi, G., Proserpio, C., Vincenzi S. 2021. Unripe grapes: an overview of the composition, traditional and innovative applications, and extraction methods of a promising waste of viticulture. – *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 28:8–26. DOI: 1111/ajgw.12522
- Kantarev, I. 1973. Research on some phenolic compounds (anthocyanins and tannins) in some dye varieties of vines and wines obtained from them. – Dissertation. Plovdiv, 191 p.
- Kennedy, J. 2008. Grape and wine phenolics: Observations and recent finding. – *Ciencia e Investigacion Agraria*, 35(2): 107–120. DOI: 10.4067/S0718-16202008000200001
- Naiker, M., Anderson, S., Johnson, J.B., Mani, J.S., Wakeling, L., Bowry, V. 2020. Loss of trans-resveratrol during storage and ageing of red wines. – *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26 (4):385–387. DOI: 10.1111/ajgw.12449
- Olivares, D., Contreras, C., Munoz, V., Rivera, S., Gonzales-Aguero, M., Retamales, J., Defilippi, B. 2017. Relationship among colour development, anthocyanin and pigment-related gene expression in ‘Crimson Seedless’ grapes treated with abscisic acid and sucrose. – *Plant physiology and biochemistry*, 115:286–297. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.04.007
- Riberean-Gayon P. 1959. Recherches sur les anthocyanes des vegetaux. Application au genre *Vitis*. – *Thse, Dr. Sc. Plus., Paris. Rev., Gn. Bot.*, 66:531 – 636.
- Roychev, V., Tzanova, M., Keranova, N., Peeva, P. 2020. Antioxidant content and antioxidant activity in raisins from seedless hybrid vine varieties with coloured grape juice. – *Czech Journal of Food Sciences*, 38 (6):410–416. DOI: 10.17221/160/2020-CJFS.
- Singleton, V.L. 1988. Wine Phenols. *Wine Analysis. Modern Methods of Plant Analysis book series (MOLMETHPLANT, volume 6)* Berlin, pp. 173–218.
- Vergana, A., Torrealba, M., Alcalde, J., Perez-Donoso, A. 2020. Commercial brassinosteroid increases the concentration of anthocyanin in red tablegrape cultivars (*Vitis vinifera* L.). – *Australian Journal of grape and wine research*, 26(4):427–433. DOI: 10.1111/ajgw.12457
- Yan, D., Xingyan, L., Xiaolin, X., Xinyu, C., Xueyan, R., Qingjun, K. 2021. An investigation on polyphenol composition and content in skin of grape (*Vitis vinifera* L. cv. *Hutai* No.8) fruit during ripening by UHPLC-MS2 technology combined with multivariate statistical analysis. – *Food Bioscience* 43. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.



INFLUENCE OF FERTILIZING AND TILLAGE SYSTEMS ON HUMUS CONTENT OF TYPICAL CHERNOZEM

Mykhailo Voitovyk¹, Andrii Butenko², Ivan Prymak¹, Yurii Mishchenko², Mykola Tkachenko⁴, Oleksii Tsyuk³, Oleksandr Panchenko¹, Yurii Sleptsov³, Tetiana Kopylova⁵, Oleksandr Havryliuk³

¹Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1, St. Soborna square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine

²Sumy National Agrarian University, H. Kondratieva St., 160, Sumy, 40021, Ukraine

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony St., 12A, UA03041, Kyiv, Ukraine

⁴National Scientific Center "Institute of Agriculture of NAAS", Kyiv, Ukraine

⁵National Dendrological Park "Sofiyivka" of the National Academy of Sciences of Ukraine, 12a St. Kyivska, Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine

Saabunud:
Received: 19.04.2023

Aktsepteeritud:
Accepted: 30.06.2023

Avaldatud veebis:
Published online: 15.08.2023

Vastutav autor:
Corresponding author: Andrii Butenko

E-mail: andb201727@ukr.net

ORCID:
0000-0002-6946-292X (AB)
0000-0003-2239-5405 (IP)
0000-0003-3240-8564 (YS)
0000-0002-4551-6727 (OH)

Keywords: humus, humic and fulvic acids, type of humus, fertilizing system, crop rotation, tillage, chernozem.

DOI: 10.15159/jas.23.03

ABSTRACT. The study aimed to measure the effect of tillage and fertilizing systems in short crop rotation on the content, and composition of humus's substances in soil's type as typical chernozem of the zone Forest-Steppe of Ukraine. The highest humus content was determined in the variant with the application of 11.5 t ha⁻¹ of organic fertilizers + N₂₇P₃₈K₄₅ kg ha⁻¹. The humus content in the 0–10 cm layer against the background of shallow tillage without a moldboard was 4.25%, with moldboard-subsurface tillage – 4.23%. These tillage systems have the most favourable effect on the formation and humus matter (t ha⁻¹). The humus storage in the variant of shallow subsurface tillage was 41.4 t ha⁻¹, i.e. 1.3 t less than in differentiated tillage. The use of soil without fertilizing led to significant humus losses and deterioration of the compound of humus substances due to mineralization processes that prevail over immobilization processes. When applying 11.5 t of organic fertilizers and (N₂₇P₃₈K₄₅) mineral fertilizers per hectare of crop rotation area, the number of humic substances increased significantly and the amount of fulvic acids in the top layer decreased. The ratio of HA (Humic acids) to FA (Fulvic acids) is 2.48. The type of humus formation is humus-fulvatic.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Introduction

The soil humus content is the main indicator of the potential soil fertility. Therefore, preservation, maintenance and restoration of humus are the main tasks of agriculture. The direction of organic matter transformation processes in the soil characterizes the degree of quantitative changes in humus (Hospodarenko *et al.*, 2018).

Traditional agricultural practices, such as tillage and excessive use of fertilizers, have led to degradation and reduced fertility of Typical Chernozems (Lal, 2008). The negative effect of deep tillage on organic matter is well known (Franzluebbbers, 2010). Intensive tillage usually causes more rapid mineralization of organic matter,

breaking down protective soil macroaggregates and increasing aeration, which provides more nitrogen (N) for the growing crop, and can also degrade soil quality. In areas of unstable moisture, a decrease in the organic matter content is the main cause of soil erosion, crust formation and the loss of aggregate stability, which in turn led to the loss of soil functionality for crop production (Blanco-Canqui *et al.*, 2004; Fernández-Ugalde *et al.*, 2010; Saygin *et al.*, 2017; Tsyuk *et al.*, 2022).

Among soil conservation methods, the use of manure and by-products increases the supply of organic matter to agroecosystems, and this is often associated with an increase in soil organic matter (Maillard, Angers, 2014; Lin *et al.*, 2019). Although priming effects may occur, generally more soil organic matter is added than lost



(Liang *et al.*, 2018; Hryhoriv *et al.*, 2022a). The use of organic fertilizers helps to solve problems related to by-products: it provides nutrients to crops, improves soil structure and moisture-holding capacity, and can contribute to mitigating the effects of climate change through carbon sequestration (Adeli, 2008; Diacono, Montemurro, 2012; Hijbeek *et al.*, 2017; Demydenko *et al.*, 2021). Several problems can arise from excessive or incorrect application or timing of organic fertilizers, such as greenhouse gas emissions, ammonia volatilization, phosphorus runoff from manure, heavy metals accumulation, leading to diffuse pollution and environmental problems (Cabrera *et al.*, 2009; Quemada, Gabriel 2016; Kravchenko *et al.*, 2022; Hryhoriv *et al.*, 2022b).

Minimum tillage and fertilizer application have been widely studied, but how agrotechnical measures to preserve fertility interact with the application of organic fertilizers has not been sufficiently studied. Soil structure can affect the degree of soil organic matter accumulation (Litvinova *et al.*, 2023). Chivenge *et al.* (2007) found that organic matter additions were more important for organic carbon accumulation on light soils than tillage. Whereas on heavy clay soils, tillage was more influential than organic matter application.

The use of various crop rotations and manure additions can change system efficiency by changing the degree of application and the type of material entering the soil (Govaerts *et al.*, 2009).

The purpose of the research is to study the influence of fertilizing and tillage systems of chernozem in a crop rotation on the content, reserves and qualitative composition of humus.

Materials and Methods

The experimental work was done on typical deep low-humus soils with medium-loam chernozem type during 2012–2021 in a 5-field crop rotation. The investigations were done in the experimental field of the Bila Tserkva National Agrarian University. This region is located in continental climate. The average annual air temperature during the years of research ranged from 8.5 to 12.3 °C. The average temperature in January in this zone is –7–8 °C, with absolute minimum –20 °C. The sum of active temperatures is over 3000°C. The annual rainfall is 400–550 mm but it is irregular. Most of them become from April to September (Havryliuk, 2022a, b; Ivanova *et al.*, 2022).

Long-term field investigations were done to study the influence of different tillage and fertilizing systems in crop rotation on the humus status of Typical Chernozem. Crop rotation had the following sequence: alfalfa – winter wheat+white mustard, green manure – sugar beets, sunflower – buckwheat - barley+alfalfa. The replication quantity in the experiment was 3, the placement of variants is systematic. Areas for the study of tillage systems are placed in 1 tier. The research was carried out in winter wheat agrocenosis. The sown area of elementary plots is 171.0 m², accounting – 112.0 m².

The first factor (A) was gradations of the main tillage systems

Differentiated (control) – moaldboard soil cultivation in the fields of sugar beets and sunflowers. For winter wheat, one shallow tillage, as well as buckwheat and one chisel tillage for the barley. The moaldboard-subsurface tillage – 1 time of variable-depth plowing for row crops. For winter wheat and buckwheat was done the 2 shallow tillages. And for the barley was done 1 chisel tillage per crop rotation. Shallow tillage means that soil cultivation was done with disc tools to a depth of 10–12 cm for all crop rotation. The main tillage measures were done with the following tools: 3-general purpose bottom (plow “Lemken Opal” 110; chisel deep loosener “AGC – 4.2”; disc harrow named “AG-2.1-20”.

The second factor (B) was gradations of fertilizing systems

Zero level – without fertilizers; organic – application of 8 t and 3.0 t of non-marketable part of the crop per hectare, mass of harvest green manure per hectare of crop rotation area. The rate of organic fertilizers was determined by the need for a positive balance of humus. Organo-mineral – to restore soil fertility, the priority use of organic fertilizers, application of 8 t ha⁻¹ of manure and 3.5 t ha⁻¹ of post-harvest green manure, non-marketable part of the crop, application of 110 kg (N₂₇P₃₈K₄₅) of mineral fertilizers. Mineral – to restore soil fertility, apply 8 tons of manure and 222 kg (N₆₈P₇₂K₈₂) of mineral fertilizers to 1 ha of crop rotation area. The following hybrids and varieties in the study were used: alfalfa – ‘Lidiia’, winter wheat – ‘Svitylo’, sunflower – ‘Kondi NK’, sugar beet – ‘Vapiti’, spring barley – ‘Helios’, buckwheat – ‘Dykul’. The main tillage measures were carried out with the following tools: 3-general purpose bottom (plow “Lemken Opal” 110); chisel deep loosener “AGC-4.2”; disk harrow AG-2.1-20, “Europak” combined unit, cultivator wides 4.2 m.

In all investigation’s variants, the remains of wheat straw were crushed and ploughed into the soil with a disc harrow. After wheat harvesting, the soil was prepared for sowing white mustard on the seed mass. In late September and part of October, post-harvest mustard remains were ploughed into the soil. Annually, after harvesting winter wheat in autumn, the manure was applied with the quantity rate of 40 t ha⁻¹. In October a field experiment was done by the options and repetitions.

Soil measurements and sampling

Soil samples were taken from the depth of 0–30 cm of the soil layer in three replications. To form a mixed soil sample, 5 individual samples were taken using the “envelope” method. The analysis of soil samples was carried out in accordance with the current regulatory and methodological documents: pre-treatment of the sample in accordance with DSTU ISO 11464; humus content was determined by Tyurin’s method, and the fractional-group composition of humus was determined

according to Tyurin's scheme as modified by Ponomaryova and Plotnikova (DSTU ISO 10694-2001; DSTU 4289:2004).

Analysis of humus fractional-group composition allows dividing it (A) into three fractions of humic acids (HA): fraction 1 – directly soluble in 0.1 N NaOH from a separate measurement, free and bound to mobile sesquioxides; fraction 2 – soluble in 0.1 N NaOH after preliminary decalcification of the soil, mainly associated with calcium, and fraction 3 – soluble in 0.02 N NaOH during 6-hour heating in a water bath, associated with clay minerals and immobile forms of sesquioxides; (B) into three fractions of fulvic acids (FA) fraction 1 – soluble in 0.1 N NaOH from non-decalcified soil and bound in the soil to fraction 1 of humic acids; fraction 2 – soluble in 0.1 N NaOH after preliminary decalcification and bound to fraction 2 of humic acids; fraction 3 – soluble in 0.02 N NaOH during 6-hour heating in a water bath and associated with fraction 3 of humic acids and (C) into humin, which is an insoluble soil residue that characterizes the strength of humic substances fixation with a clay fraction or a weak degree of organic substances humification.

Statistical analysis

Our indicators were analyzed statistically according to the analysis of variance (ANOVA) for R.C.B.D, with split plot arrangement using the least significant difference test (LSD) to compare arithmetic means of treatment at a level of probability (5%). The relationship between applied organic fertilizers in crop rotation (X) and the content of humus in the soil (Y) was studied with the method of simple linear regression. The correlation coefficient (r) was used as an indicator of the accordance of the equation to the indicators.

Results and Discussion

Humus content (%) and stocks (t ha⁻¹)

Organic matter in the soil is under the influence of oppositely directed processes, the process of humus synthesis and mineralization processes. This is due to different humus content, as well as anthropogenic load (Marenych *et al.*, 2020; Tsyuk *et al.*, 2021). It was established that during the winter wheat cultivation, in the soil the processes of organic substances mineralization prevail (Tables 1–3). The lowest content of humus in the soil layer of 20–30 cm is observed in the variant without the use of fertilizers (3.06%). This indicates a decrease in soil humus reserves involved in intensive agricultural use. With the application of fertilizers in all variants, a reliable preservation of a higher humus content was observed compared to areas without fertilizers.

The highest content of humus in the 0–10 cm layer was observed in the variant with an organic-mineral fertilizing system, against the background of shallow subsurface tillage – 4.25%, moaldboard-subsurface tillage – 4.23%, which have a positive effect on humus preservation.

The application of moaldboard-subsurface tillage against the background of the organic-mineral fertilizing system, the humus content in the 0–10 cm layer increased by 13.4%, while at the depth of 10–20 cm and in the 20–30 cm layer, on the contrary, it decreased by 8.8% compared to differentiated variant. Humus content in these variants did not change and amounted to 50.3 t ha⁻¹. In the variant of shallow subsurface tillage, the humus content in the 20–30 cm layer decreased by 3.6% compared to the control variant.

Table 1. Content (%) and humus stock (t ha⁻¹) in the 0–10 cm soil layer in the case of winter wheat cultivation

Fertilizing system	Without fertilizers			Organic system			Organo-mineral system			Mineral system		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tillage												
Humus % at the beginning of experiment	3.22	3.60	3.64	3.79	3.89	3.90	3.70	4.19	4.20	3.75	3.85	3.86
Humus % after wheat cultivation	3.20	3.58	3.60	3.79	3.90	3.91	3.73	4.23	4.25	3.72	3.83	3.85
Humus stock, t ha ⁻¹	37.7	44.6	45.9	44.7	46.4	47.7	44.0	50.3	51.8	43.8	45.5	46.9

1 – Differentiated tillage; 2 – Moaldboard-subsurface tillage; 3 – Shallow subsurface tillage; LSD₀₅ fertilizing system – 0.06; LSD₀₅ tillage – 0.11.

Table 2. Content (%) and humus stock (t ha⁻¹) in the 10–20 cm soil layer in the case of winter wheat cultivation

Fertilizing system	Without fertilizers			Organic system			Organic-mineral system			Mineral system		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tillage												
Humus % at the beginning of experiment	3.66	3.67	3.74	3.76	3.71	3.70	3.92	3.77	3.75	3.72	3.71	3.73
Humus % after wheat cultivation	3.63	3.65	3.69	3.76	3.73	3.70	3.96	3.81	3.78	3.70	3.70	3.73
Humus stock, t ha ⁻¹	44.2	44.1	46.1	45.8	45.1	44.0	48.3	45.3	44.9	45.1	44.7	46.6

1 – Differentiated tillage; 2 – Moaldboard-subsurface tillage; 3 – Shallow subsurface tillage; LSD₀₅ fertilizing system – 0.08; LSD₀₅ tillage – 0.10.

Table 3. Content (%) and humus stock (t ha⁻¹) in the 20–30 cm soil layer in the case of winter wheat cultivation

Fertilizing system	Without fertilizers			Organic system			Organic-mineral system			Mineral system		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tillage												
Humus % at the beginning of experiment	3.07	3.07	3.12	3.18	3.11	3.11	3.27	3.27	3.14	3.15	3.10	3.09
Humus % after wheat cultivation	3.06	3.07	3.10	3.18	3.09	3.11	3.26	3.26	3.14	3.11	3.08	3.09
Humus stock, t ha ⁻¹	38.9	39.0	39.4	40.4	39.2	39.5	41.4	41.4	39.9	39.5	39.1	39.2

1 – Differentiated tillage; 2 – Moaldboard-subsurface tillage; 3 – Shallow subsurface tillage; LSD₀₅ fertilizing system – 0.04; LSD₀₅ tillage – 0.15.

Scientific literature shows that only mineral fertilizers can stabilize the content of organic carbon in the soil, and can also prevent a decrease or even an increase in its content (Gonet, Wegner, 1990). In this study, the significant effect of joint application of organic fertilizers with mineral fertilizers was proven. In most experiments, an increase in total organic carbon content was recorded in soils fertilized with manure in combination with nitrogen fertilizers (Mockeviciene *et al.*, 2022). In the presented studies, the effect of fertilization had a greater influence on the accumulation of humus in the soil than the use of it tillage. In a number of works, it was noted that the joint application of manure and mineral fertilizers enhances the process of humus mineralization (Pikuta, Ciotucha, 2022). It is believed that mineral nitrogen has an effect on humus stabilization (Cambardella *et al.*, 2001). Our results are consistent with the common knowledge that soil humus changes slowly in response to various agricultural practices such as mineral fertilizers or manure (Kaiser, Kalbitzb, 2012).

Humus stock in the variant of shallow subsurface tillage is 39.9 t ha⁻¹, which is by 1.5 tons less than the control variant. The biggest difference in the humus content, depending on soil cultivation, is observed with the organic-mineral fertilizing system. Humus content increased in the 0–10 cm layer under moaldboard-sub-surface and shallow subsurface tillage by 13.0–13.4% compared to the control variant. In the layer of 10–20 cm, the differentiated variant had the advantage in terms of humus content.

Increasing mineral fertilizers dose to N₆₈P₇₂K₈₂ against the background of organic fertilizers does not ensure a further increase in humus content in the soil. This is explained by the increase in acidity, the dispersion of humus by fertilizer cations, and changes in the direction of biochemical processes in the soil.

According to Tsvey (2014), the application of a high rate of N₆₈P₇₂K₈₂ fertilizers per crop rotation increases

the mineralization of organic matter in accordance with the average rate of fertilizers. From this dose of fertilizers, 0.12% of the arable layer was lost, and 0.08% of the humus was lost from the subsoil layer.

The use of the mineral fertilizer system led to a decrease in the humus content in the soil by 0.05–0.18% compared to the organic-mineral system. An insignificant average relationship between applied organic fertilizers (X) and humus content in the 0–10 cm soil layer (Y), correlation coefficient ($r = 0.64 \pm 0.24$), regression equation ($Y = -11.55X - 36.61$) was established. Insignificant weak relationship between applied organic fertilizers (X) and humus content in 10–20 cm soil layer (Y), correlation coefficient ($r = 0.16 \pm 0.31$), regression equation ($Y = -4.954X - 10.676$).

Fractional-group composition of humus under the influence of crop rotation and the use of fertilizers humus quality indicators are changed (Tsyuk, 2021). Humic acids form a single trans accumulative system in the soil, in which HA are an accumulative component and are fixed by the mineral part of the soil at the place of their genesis, and FA are partially bound into complexes with HA, and partially migrate to the depth. HA mostly do not migrate, and therefore they can serve as a marker of the process of humus formation in each specific horizon (Dmytruk *et al.*, 2012).

Determination of the group and fractional composition of the humus of the investigated Typical Chernozem proved (Table 4) that humus quality improved due to the increase HA content and the decrease in the FA content due to fraction 2, which is associated with calcium, and fraction 3, which is associated with a clay fraction and stable sesquioxides.

According to studies, proportion of FA in humus composition in the control without fertilizers decreases (Tsvey *et al.*, 2016), while according to the data of other studies (Dehtiarov, 2011), it remains unchanged or increases (Zahorcha, 1990).

Table 4. Group and fractional composition of humus in the 0–30 cm layer of Typical Chernozem

Fertilizing system	Observation period*	General, %	Humic acids (HA) by fractions, %			Σ HA, %	Fulvic acids (FA) by fractions, %			Σ FA, %	HA:FA	Insoluble residue
			1	2	3		1	2	3			
			Without fertilizers	I	2.50		0.06	1.10	0.14			
	II	2.40	0.04	0.86	0.28	1.18	0.13	0.21	0.15	0.49	2.40	0.73
Organic-mineral system	I	2.54	0.06	0.97	0.17	1.20	0.12	0.42	0.22	0.76	1.57	0.58
	II	2.70	0.03	0.86	0.23	1.12	0.15	0.05	0.25	0.45	2.48	1.13

*I – at the beginning of the first rotation; II – at the end of the second rotation.

In the process of humus synthesis, high-molecular HA are formed, which many scientists consider one of the most important components of the soil, which differ significantly in their nature and properties (Polupan, 1997).

HA show the maximum ability for ion exchange interaction, which is due to their high molecular weight and more complex chemical structure compared with FA. The use of a mineral fertilizer system for crop rotation results in the intensive destruction of all high-molecular fractions of HA, but not only HA, but also FA (Hasanova *et al.*, 2010; Balaev *et al.*, 2019).

As noted by Trus (2011), it is emphasized that the application of only mineral fertilizers increases the fulvic character of humus. At the same time, the systematic use of organic-mineral and organic fertilizer systems leads to a certain increase in humus content. Research results show that on Chernozems, long-term application of manure and mineral fertilizers ensured an increase in the content of humic acids and a decrease in the amount of fulvic acids and non-hydrolyzed residue compared to the control variant, without fertilizers (Dehtiarow, 2010).

It is a reserve of nutrients and directly determines the level of soil fertility efficiency (Chenu *et al.*, 2019).

Under the organo-mineral fertilizing system, humus indicators improved significantly. The increase of humic acids occurred in the arable layer at the expense of fraction 3 – by 21.4% compared to the variant without fertilizers. There was a decrease in the amount of fulvic acids compared to the control by 76.0% at the expense of fraction 2, but the proportion of fulvic acids in fraction 3 increased by 66.0% compared to the control at the end of the second crop rotation.

Considering the previous studies, it is possible to state the fact that under long-term anthropogenic load of chernozem, the proportion of fulvic acids typically increases and humic acids decrease in the variant without fertilizers and their application. Under the influence of fertilizer application, both the amount of humic acids and the ratio between humic and fulvic acids changed. To Typical Chernozems the humic-fulvatic type of humus formation is characteristic.

The non-hydrolyzed residue is a potential source of humus and increases the most against the background of the organo-mineral fertilizing system. Therefore, humus content in Typical Chernozem is due to increased amount of unhydrolyzed residue.

Conclusion

Systematic use of organic and mineral fertilizers, and plant by-products in short-rotational crop rotation has a noticeable positive effect on the humus content and fractional-group composition of Typical Chernozem. The humus content increase from combined organic fertilizers (11.5 t ha⁻¹) + mineral fertilizers (N₂₇P₃₈K₄₅ kg ha⁻¹) of the crop rotation area in the 0–10 cm layer against the background of shallow subsurface tillage – 4.25%, moaldboard-subsurface tillage – 4.23%, which have the best effect on preserving humus.

Different cultivation and fertilizing systems influenced the differentiation of humus concentration and stocks. With moaldboard-subsurface tillage, a uniform distribution of humus in the treated layer (0–30 cm) was noted, but with shallow subsurface tillage – an accumulation in the upper 0–10 and 10–20 cm. A more intense decrease in humus stocks was recorded in the 20–30 cm layer compared to upper ones.

The use of the organo-mineral fertilizing system in crop rotation improves the quality of humus in the soil arable layer. The humus formation type is humic-fulvatic. The application of 11.5 t ha⁻¹ of organic fertilizers in the crop rotation area in intensive agricultural crop rotation contributes to increasing the soil humus content (concentration and stocks) and improving humus quality.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Authors contributions

MV, AB – study conception and design, drafting of the manuscript;
IP, YM – performed the literature data analysis and discussion of the results;
MT, OT – analysis and interpretation of data and is the corresponding author;
OP, YS – author of the idea, guided the research;
TK – acquisition of data, drafting of the manuscript;
OH – critical revision and approval of the final manuscript.
All authors read and approved the final manuscript.

References

- Adeli, A., Shankle, M.W., Tewolde, H., Sistani, K.R., Rowe, D.E. 2008. Nutrient dynamics from broiler litter applied to no-till cotton in an upland soil. – *Agronomy journal*, 100:564–570. DOI: 10.2134/agronj2007.0224
- Balaev A., Pikovska O., Tonkha O. 2019. Content of humus and labile organic substances for different uses of typical chernozem. – *Scientific journal “Vegetation and Soil Science”*, 286:173–179. [In Ukrainian].
- Blanco-Canqui, H., Lal, R. 2004. Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. – *Critical review in plant science*, 23:481–504. DOI: 10.1080/07352680490886842
- Cabrera, V.E., Stavast, L.J., Baker, T.T., Wood, M.K., Cram, D.S., Flynn, R.P., Ulery, A.L. 2009. Soil and runoff response to dairy manure application on New Mexico rangeland. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131:255–262. DOI: 10.1016/j.agee.2009.01.022
- Cambardella, C.E., Gajda, A.M., Doran, J.W., Wienhold, B.J., Kettler, T.A. 2001. Estimation of particulate and total organic matter by weight-loss-on ignition. – In *Assessment Methods for Soil Carbon*; Lal, R., Kimble, J.F., Follet, R.F., Stewart, B.A., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 349–359.
- 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*, 188:41–52. DOI: 10.1016/j.still.2018.04.011
- Chivenge, P.P., Murwira, H.K., Giller, K.E., Mapfumo, P., Six, J. 2007. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. – *Soil and Tillage Research*, 94:328–337. DOI: 10.1016/j.still.2006.08.006
- Dehtiarov, V. 2011. Humus chornozemiv Lisostepu ta Stepu Ukrayiny: monohr. [Humus of chernozems of the Forest-Steppe and Steppe of Ukraine: monograph]. – Kharkiv, Maydan [Kharkiv, Maidan], 360. [In Ukrainian]
- Dehtiarow, V.V. 2010. Colloidal and chemical characteristics of humus-accumulative soil formation and fertility of natural aerogenic chernozems of the Left Bank Forest Steppe and Steppe of Ukraine: author's abstract thesis Dr. S. – *H. Nauk. Kyiv*, 45 p. [In Ukrainian]

- Demydenko, O.V., Bulygin, S.Yu., Velychko, V.A., Kaminsky, V.F., Tkachenko, M.A. 2021. Soil moisture potential of agrogenoses in the forest-steppe of Ukraine. – *Agricultural Science and Practice*, 8(2):49–61. DOI: 10.15407/agrisp8.02.049
- Diacono, M., Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. – *Agronomy for Sustainable Development*, 30:401–422. DOI: 10.1051/agro/2009040
- Dmytruk, Yu., Demyd, I., Ivanescu, Zh. 2012. Fraktsiynny i hrupovyy sklad humusu pokhovanykh gruntiv [Fractional and group composition of humus of buried soils]. – *Biologichni systemy [Biological systems]*, 4(1):35–40. [In Ukrainian]
- DSTU 4289:2004. 2006. Soil quality. Methods for determining organic matter. [Effective from 2005-07-01]. – Kharkiv: Collection of national standards of Ukraine in the field of soil science, agrochemistry and soil protection, 2:1–9.
- DSTU ISO 10694-2001. 2006. Determination of the content of organic and total carbon by the method of dry combustion (elemental analysis). [Effective from 2003-01-01]. – Kharkiv: Collection of national standards of Ukraine in the field of soil science, agrochemistry and soil protection, 1:1–7.
- Fernández-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., Karlen, D.L. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. – *Soil and Tillage Research*, 106:29–35. DOI: 10.1016/j.still.2009.09.012
- Franzluebbers, A.J. 2010. Achieving Soil Organic Carbon Sequestration with Conservation Agricultural Systems in the Southeastern United States. – *Soil Science Society of America Journal*, 74:347–357. DOI: 10.2136/sssaj2009.0079
- Gonet, S.S.; Wegner, K. 1990. Influence of fertilization on soil humus. *Sci. J. Agric. Univ. Wroc. Agric.* 53: 127–135.]
- Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K.D., Dixon, J., Dendooven, L. 2009. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality. – *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28:97–122. DOI: 10.1080/07352680902776358
- Hasanova E.S., Stekolnikov K.E., Kotov V.V. etc. 2010. Fractional and soil composition of leached chernozem humus and its transformation under the influence of agricultural techniques. *Reports on ecological soil science*, 1.13:19–29. [In Russian].
- Havryliuk, O., Kondratenko, T., Mazur, B., Kutovenko, V., Mazurenko B., Voitsekhivska, O., Dmytrenko, Y. 2022a. Morphophysiological peculiarities of productivity formation in columnar apple varieties. – *Agronomy research*, 20(1):148–160. DOI: 10.15159/AR.22.00
- Havryliuk, O., Kondratenko, T., Mazur, B., Tonkha, O., Andrusyk, Y. Kutovenko, V., Yakovlev, R., Kryvoshapka, V., Trokhymchuk, A., Dmytrenko, Y. (2022b). Efficiency of productivity potential realization of different-age sites of a trunk of grades of columnar type apple-trees. – *Agronomy research*, 20(2):241–260. DOI: 10.15159/AR.22.031
- Hijbeek, R., Van Ittersum, M.K., Ten Berge, H.F., Gort, G., Spiegel, H., & Whitmore, A.P. (2017). Do organic inputs matter—a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe? *Plant Soil*, 411: 293–303. DOI: 10.1007/s11104-016-3031-x
- Hospodarenko, H., Prokopchuk, I., Prokopchuk, S., Trus, A. 2018. Humus content in a podzolized chernozem after a long-term application of fertilizers in a field crop rotation. – *Agronomy Research*, 16(3): 728–736. DOI: 10.15159/AR.18.080
- Hryhoriv, Ya., Butenko, A., Kozak, M., Tatarynova, V., Bondarenko, O., Nozdrina, N., Stavtyskyi, A., Bordun, R. 2022a. Structure components and yielding capacity of *Camelina sativa* in Ukraine. – *Agriculture and Forestry*, 68(3): 93–102. DOI: 10.17707/AgricultForest.68.3.07
- Hryhoriv, Ya., Nechyporenko, V., Butenko, A., Lyshenko, M., Kozak, M., Onoprienko, I., Shumkova, O., Shumkova, V., Kriuchko, L. 2022b. Economic efficiency of sweet corn growing with nutrition optimization. – *Agraarteadus*, 33(1):81–87. DOI: 10.15159/jas.22.07
- Ivanova, I., Serdyuk, M., Malkina, V., Tonkha, O., Tsyz, O., Mazur, B., Shkinder-Barmina, A., Gerasko, T., Havryliuk, O. 2022. Cultivar features of polyphenolic compounds and ascorbic acid accumulation in the cherry fruits (*Prunus cerasus* L.) in the Southern Steppe of Ukraine. – *Agronomy research*, 20(3): 588–602. DOI: 10.15159/AR.22.065
- Kaiser, K.; Kalbitz, K. 2012. Cycling downwards – dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 52:29–32.
- Kravchenko, Y., Yarosh, A., Chen, Y. 2022. Profile Soil Carbon and Nitrogen Dynamics in Typical Chernozem under Long-Term Tillage Use. – *Land*, 11(8):1165. DOI: 10.3390/land11081165
- Lal, R. 2008. Soils and sustainable agriculture. A review. – *Agronomy for Sustainable Development*, 28:57–64. DOI: 10.1051/agro:2007025
- Liang, J., Zhou, Z., Huo, C., Shi, Z., Cole, J.R., Huang, L., Konstantinidis, K.T., Li, X., Liu, B., Luo, Z. 2018. More replenishment than priming loss of soil organic carbon with additional carbon input. – *Nature Communications*, 9:3175. DOI: 10.1038/s41467-018-05667-7
- Lin, Y., Ye, G., Kuzyakov, Y., Liu, D., Fan, J., Ding, W. 2019. Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa. – *Soil Biology and Biochemistry*, 134:187–196. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.03.030
- Litvinova, O., Tonkha, O., Havryliuk, O., Litvinov, D., Symochko, L., Dehodiuk, S., Zhyla, R. 2023. Fertilizers and pesticides impact on surface-active substances accumulation in the dark gray podzolic soils. – *Journal of Ecological Engineering*, 24(7):119–127. DOI: 10.12911/22998993/163480

- Maillard, É., Angers, D.A. 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis. – *Global Change Biology*, 20:666–679. DOI: 10.1111/gcb.12438
- Marenych, M.M., Kaminsky, V.F., Bulygin, C.Yu., Hanhur, V.V., Korotkova, I.V., Yurchenko, S.O., Bahan, A.V., Taranenko, S.V., Liashenko, V.V. 2020. Optimization of factors of managing productive processes of winter wheat in the Forest-Steppe. – *Agricultural Science and Practice*, 7(2):44–54.
- Mockeviciene, I., Repsiene, R., Amaleviciute-Volunge, K., Karcauskiene, D., Slepeliene, A., Lepane, V. 2022. Effect of long-term application of organic fertilizers on improving organic matter quality in acid soil. – *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68:1192–1204.
- Pikuta, D., Ciotucha, O. 2022. The Composition of the Organic Matter Fractions of Loamy Sand after Long-Term FYM Application without Liming. – *Agro-nomy*, 12(10): 2385. DOI: 10.3390/agronomy12102385
- Polupan, M.I. 1997. Theoretical foundations of humus accumulation in natural, its evolution and management in agrocenoses. – *Herald of Agrarian Science*, 9:21–26. [In Ukrainian]
- Quemada, M., Gabriel, J.L. 2016. Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. – *Global Food Security*, 9:29–35. DOI: 10.1016/j.gfs.2016.05.004
- Saygin, S.D., Erpul, G., Basaran, M. 2017. Comparison of aggregate stability measurement methods for clay-rich soils in Asartepe catchment of Turkey. – *Land Degradation*, 28:199–206. DOI: 10.1002/ldr.2383
- Trus O.M. 2011. Changes in fractional soil composition and the content of mobile forms of humus in podzolized chernozem under the influence of fertilizer. – *Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region*, 1(58): 159–166. [In Ukrainian]
- Tsvey, Ya.P. 2014. Rodyuchist' gruntiv i produktyvnist' sivozmin: monohrafia [Soil fertility and productivity of crop rotation: monograph]. – Kyiv, Compring, 414. [In Ukrainian]
- Tsvey, Ya.P., Bondar, S., Kisilevska, M. 2016. Sklad humusu chernozemiv zalezho vid systemy udobrennya v sivozminakh korotkoyi rotatsiyi [Humus composition of chernozems depending on the fertilization system in short rotation crop rotations]. – *Herald of Agrarian Science*, 9:5–9. [In Ukrainian]
- Tsyuk O., Myroshnychnko, M., Tsvey, Y., Melnyk, V. 2021. Control of weeds in agrophytocenosis of winter wheat depending on soil treatment and fertilization system. – *AgroLife Scientific Journal*. 10(2):197–202. DOI: 10.17930/AGL2021224
- Tsyuk, O., Tkachenko, M., Butenko, A., Mishchenko, Y., Kondratiuk, I., Litvinov, D., Tsiuk, Y., Sleptsov, Y. 2022. Changes in the nitrogen compound transformation processes of typical chernozem depending on the tillage systems and fertilizers. – *Agraarteadus*, 1(33):192–198. DOI: 10.15159/jas.22.23
- Zahorcha, K. 1990. Optyimizatsiya systemy udobrennya v pol'ovykh sivozminakh [Optimizing of fertilization system in field crop rotations]. – Chisinau: Shtyinnia, 287. [In Ukrainian]



ÜLEVAADE TAIMSETE LISANDITE ANTIMIKROOBSE TOIME UURINGUTEST IN VITRO JA TOORETES SEAHAKKLIHATOODETES

OVERVIEW OF STUDIES ON THE ANTIMICROBIAL EFFECT OF PLANT ADDITIVES IN VITRO AND IN RAW MINCED PORK PRODUCTS

Kadrin Meremäe, Julia Koskar, Tõnu Püssa, Piret Raudsepp, Dea Anton, Mati Roasto

Eesti Maailikool, veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut, veterinaarse biomeditsiini ja toiduhügieeni õppetool,
Fr. R. Kreutzwaldi 56/3, 51014 Tartu

Saabunud: 15.09.2022
Received:
Aktsepteeritud: 17.06.2023
Accepted:
Avaldatud veebis: 15.08.2023
Published online:
Vastutav autor: Kadrin
Corresponding author: Meremäe

E-mail: kadrin.meremae@emu.ee

ORCID:

0000-0002-8616-9581 (KM)
0000-0001-8686-443X (JK)
0000-0002-3461-7805 (TP)
0000-0002-9447-1895 (PR)
0000-0002-6113-5342 (DA)
0000-0002-7835-0647 (MR)

Keywords: foodborne pathogens,
total microbial counts, plant extracts
and powders, antimicrobial activity,
raw minced pork products.

DOI: 10.15159/jas.23.07

ABSTRACT. Plant additives can be used in food technologies as natural additives to replace synthetic food additives partially or completely. The present work aims to give an overview of studies that have been carried out over the years 2011–2019 in the Department of Food Hygiene and Safety at the Estonian University of Life Sciences on the antimicrobial activity of plant additives *in vitro* as well as in raw minced pork products in the perspective to find effective candidates to use them further in meat products. The findings of the *in vitro* studies showed that the strongest bacterial growth inhibition was observed in the 96% ethanol extracts of rhubarb root and petiole as well as berries of blackcurrant and chokeberry. In the present *in vitro* study, plant extracts had the strongest antimicrobial activity against *Campylobacter jejuni*. In raw minced pork studies, the total microbes as well as yeasts and molds were inhibited in raw minced pork samples only in the presence of powders of rhubarb petioles and tomato or their mixture. In conclusion, this work revealed that powders of rhubarb, tomato and berries of blackcurrant and chokeberry are perspective candidates for inhibiting microbial growth in raw minced pork products.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Toidus võib leiduda erinevaid mikroorganisme, mis mõjutavad toidu ohutust, kvaliteeti ja säilimisega. Mikroorganismidest võivad toidus esineda nii inimese tervisele kasulikud bakterid (nt mõned *Lactobacillus*'e ja *Bifidobacterium*'i liigid) kui ka toidu kvaliteeti halvendavad ja rikkemist esile kutsuvad mikroobid (nt suur osa hallitus- ja pärmseentest, piimhappebakterid ja pseudomonased) (Roasto, 2019). Samuti võivad toidu tootmise, töötlemise ja tarbimise ahelas esineda toidupatogeeneid nagu *Salmonella enterica* (Kuus jt, 2021), *Listeria monocytogenes* (Koskar jt, 2019), *Campylobacter* spp. (Mäesaar jt, 2014; 2018), *Escherichia coli* O157:H7 (Kramarenko jt, 2016) jt, mis toitu sattudes

on terviseriskiks inimestele. Seepärast kasutatakse toidu tootmisel ka sünteetilisi toidu lisaaineid sh säilitusaineid, et tagada toidu kvaliteet ja ohutus ning säilimisega (Amit jt, 2017).

Paljud tarbijad soovivad sünteetiliste toidu lisaainete asendamist tervisele ohutumate looduslike alternatiividega, nt toidu riknemist pidurdavate taimsete lisanditega (Lorenzo jt, 2018). Taimse päritoluga lisandid toidus omavad tähtsust ka tervise tugevdamises ja krooniliste haiguste ennetamises (Prakash jt, 2017). Sünteetiliste lisaainete osaliseks või täielikuks asendamiseks ja/või efektiivsete funktsionaalsete toitade tootmiseks on võimalik kasutada taimedest, taimeosadest või nende tootmisjääkidest pärinevaid sobilike omaduste ja kasutusvõimalustega lisandeid (Pisoschi jt, 2018).



Viimase kümnendi jooksul on läbi viidud arvukaid uuringuid määramaks erinevate Eesti päritolu taime liikide (mustsõstar, rabarber, tomat, aroonia, mustikas, astelpaju, söödav kuslapuu, pihlakas, sibul, küüslauk jt) antimikroobseid ja antioksüdantseid omadusi (Raudsepp jt, 2013; Anton jt, 2014; Raudsepp jt, 2019; Anton jt, 2019; avaldamata andmed). Kõigis neis traditsioonilistes toidutaimedes leidub vähemal või rohkemal määral fütokemikaale, nt polüfenoolide, sh flavonoidide rühma kuuluvaid ühendeid, millel on tuvastatud nii antimikroobseid, antioksüdantseid kui ka farmakoloogilisi toimeid (Pisoschi jt, 2018; Lorenzo jt, 2018). Paljudes *in vitro* uuringutes (Berköz jt, 2017; Gonelimali jt, 2018; Mostafa jt, 2018; Sima jt, 2018) on taimsetel lisanditel tuvastatud antimikroobne toime toidu riknemist esile kutsuvate mikroobide ja toidupatogeenide suhtes.

Taimsete lisanditena sobivad kasutamiseks eeskätt need, mis sisaldavad rikkalikult polüfenoolseid ühendeid ja suudavad pärssida ka mikroobide kasvu ja seeläbi tagada optimaalse toidu säilimisaja, soodustada või säilitada kasulike piimhappebakterite elutegevust ning tõsta toidu tervislikkust (Bouarab-Chibane jt, 2019; Oulahal, Degraeve, 2022). Kõikidele ootustele vastavaid taimseid lisandeid, mis omaksid soovitavaid tulemusi nii *in vitro* kui ka toidumaatriksitega läbiviidavates katsetes, on aga keeruline leida.

Käesoleva töö eesmärgiks on koondada viimase kümnendi jooksul Eesti Maaülikooli toiduhügieeni ja -ohutuse uurimisgrupis läbi viidud teadusuuringute olulisemad tulemused, et anda ülevaade Eesti päritolu taimsete lisandite või nende kombinatsioonide antimikroobsest mõjust erinevatele mikroorganismidele *in vitro* ja tooretas seahakklihatoodetes.

Materjal ja meetodika

Taimne materjal

Aastatel 2011–2019 teostati kolm mahukat katse seeriat (I–III). Esimesse uuringusse (I) kaasati taimsest materjalist tomati (*Lycopersicon esculentum* Mill.) viljad, mustika (*Vaccinium myrtillus* L.) marjad, astelpaju (*Hippophae rhamnoides* L.) marjad, musta sõstra (*Ribes nigrum* L.) marjad ja lehed, söödava kuslapuu (*Lonicera caerulea* L.) marjad ning rabarberi (*Rheum rhaponticum* L.) juured ja varred. Teise uuringusse (II) võeti rabarberi (*Rheum rhaponticum* L.) juured ja varred; mustsõstra (*Ribes nigrum* L.) marjad ja lehed, aroonia (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott) ja söödava kuslapuu (*Lonicera caerulea* L. var. *edulis*) marjad.

I ja II uuringus läbi viidud taimsete materjalide ettevalmistust on kirjeldatud Raudsepp jt (2013; 2019) uuringus. Uuringuteks vajaminevad taimede vesiekstraktid valmistati dekoktsiooni meetodil (Bisset, Wichtl, 1994). Lisaks uuriti taimeekstraktide mõju valitud mikroorganismide suhtes 96, 30 ja 20% etanooliekstraktides.

Kolmandas uuringus (III) kasutatud taimseks materjaliks olid rabarberi (*Rheum rhaponticum* L.) juured ja varred; mustsõstra (*Ribes nigrum* L.) marjad ja lehed, tomati (*Lycopersicon esculentum* Mill.) viljad ning

aroonia (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott) ja söödava kuslapuu (*Lonicera caerulea* L. var. *edulis*) marjad. Mikroobide kasvu pärssivate toimete uurimiseks valmistati taimsetest materjalidest pulbrid või pulbrit segud, millest on lähemalt antud ülevaade Anton jt (2019) artiklis.

Mikroorganismid

Taimeekstraktide antimikroobseid toimeid *in vitro* uuriti järgmiste Gram-positiivsete (G+) bakterite *Bacillus subtilis* (BGA), *Bacillus pumilus* (CV 607), *Kocuria rhizophila* (ATCC 9341), *Lactobacillus acidophilus* (ATCC 4356), *Bifidobacterium bifidum* (Bb12), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), ja Gram-negatiivsete (G-) bakterite *Salmonella enteritidis* (ATCC 13076), *Escherichia coli* (NCCB 100282), *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Yersinia ruckeri* (NCIM 13282) ja *Campylobacter jejuni* (ATCC 33291) suhtes (uuring I, II).

Mikrobioloogilisteks uuringuteks külvati bakterid väljakasvuks mitteselektiivsetele agarsöötmetele, mida on lähemalt kirjeldatud Raudsepp jt (2013 ja 2019) uuringutes. Seejärel võeti 1 µl bakterimassi ja inkubeeriti 37 °C juures 20 tundi Mueller Hinton (Oxoid, Basingstoke, UK) puljongis baktersistensiooni (10⁶ pesa moodustavat ühikut milliliitris, pmü ml⁻¹) saamiseks.

In vitro katsetele järgnesid taimsete lisanditega rikastatud toorete seahakklihatoodete uuringud aeroobsete mesofiilsete mikroorganismide ning hallitus- ja pärmseente arvukuse dünaamika uurimiseks määratletud säilimisaja jooksul (uuring III).

Antimikroobse toime uuringud *in vitro*

Taimeekstraktide antimikroobse toime väljaselgitamiseks kasutati agar-kaevu difusiooni meetodit (uuring I, II), mida on lähemalt kirjeldatud Raudsepp jt (2013) uuringus. Selleks kanti eelmääratletud kontsentratsiooniga baktersistensioon Mueller Hintoni agarile. Seejärel, aseptilisi võtteid kasutades, lõigati agarisse 6 mm läbimõõduga süvendid, mis täideti 30 µl lahjendusega (1:20 m v⁻¹) taimeekstraktide või kontrolllahusega. Positiivse kontrollina kasutati klooramfenikooli (1 mg ml⁻¹, LAB M) ja negatiivseteks kontrollideks olid fosfaatpuhver (pH 7) ja etanool. Seejärel inkubeeriti Petri tase bakteritüvedele optimaalsetel kasvu (37 °C või 42 °C juures) 24 tunni jooksul. Antimikroobset toimet näitas süvendi ümber tekkinud bakterite kasvu täielikult pärssinud tsoon, mille diameeter (d) mõõdeti millimeetrites (mm). Analüüsid viidi läbi kahes korduses.

Antimikroobse toime uuringud tooretas seahakklihatoodetes

Mikroorganismide loendamiseks kasutati EVS-EN ISO 4833-2:2013 ning hallitus- ja pärmseente loendamiseks EVS-ISO 21527-1:2009 standardeid (uuring III). Katseproovide, algsuspensiooni ja kümnendlahjenduste ettevalmistamisel mikrobioloogilisteks uuringuteks lähtuti standardist EVS-EN ISO 6887-2:2017.

Katseseeriade läbiviimiseks kaaluti steriilsesse stomahher kotti 10 grammi proovimaterjali, millele valati 90 ml steriilset peptonvedelikku ning loksutati stomahheris (Stomacher[®] 400 Circulator, Seward, UK)

ühe minuti jooksul. Valmislahust kasutati nii aeroobsete mesofiilsete mikroorganismide kui hallituste ja pärmide üldarvu määramiseks. Mikroorganismide loendamiseks kasutati Plate Count Agarit (PCA, Lancashire, UK) ning hallitus- ja pärmseente loendamiseks Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agarit (DRBC, Lancashire, UK). PCA plaatidele kanti vastava lahjendusega uurimismaterjali 100 µl, DRBC plaatidele 1 ml. PCA plaate inkubeeriti 30 °C 72 tundi ja DRBC plaate 25 °C 5 päeva. Pärast inkubeerimist kolooniad loendati ja tulemused väljendati pmü arvuga kümnendlogaritmidest grammi toote kohta (log pmü g⁻¹). Katsetes uuritud tooreid seahakklihatoodete proove säilitati külmikus +4...+6 °C juures ning neis sisalduvate mikroorganismide arvukusi loendati 0., 2., 4. ja 6. päeval. Analüüsid viidi läbi kahes korduses.

Statistiline analüüs

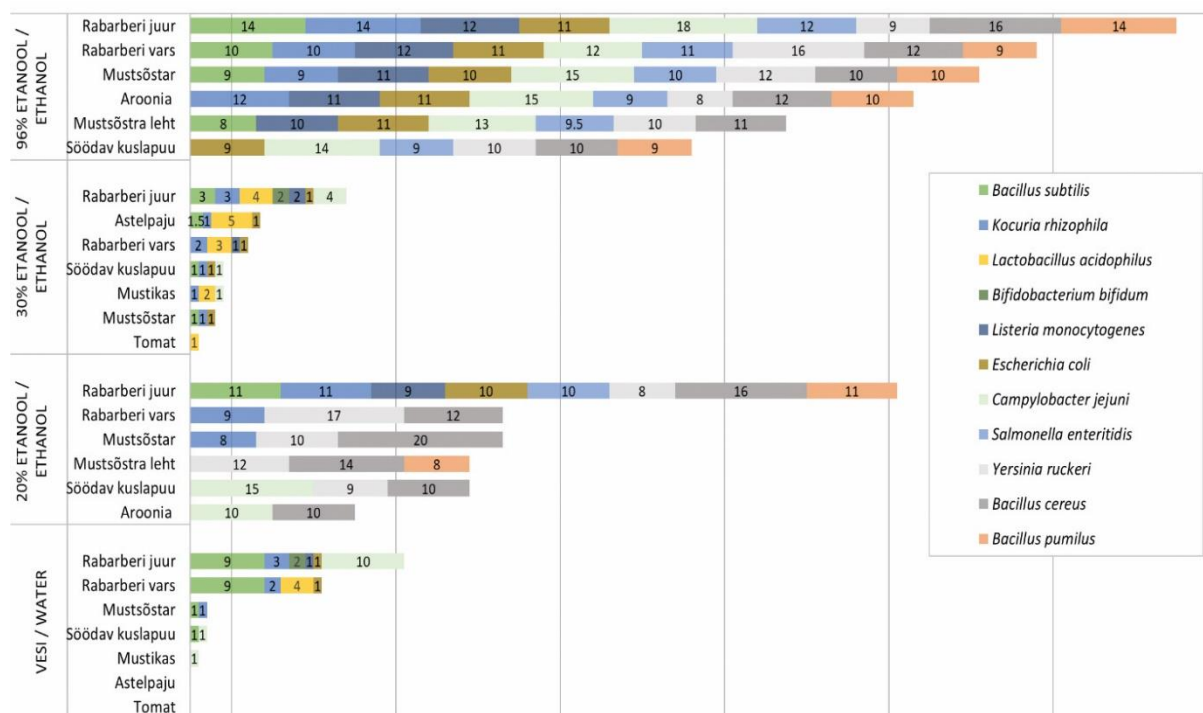
Andmete statistiliseks analüüsiks kasutati mikroorganismide arvukuse paralleelproovide keskmiseid väärtuseid ning võrdlus toimus kontrollprooviga (toores

seahakkliha) 0. päev *versus* katse viimane päev. Mikroorganismide loendamisel kogutud andmete statistiliseks töötamiseks kasutati Microsoft Office Excel programmi. Taimseid lisandeid sisaldavates tooretēs seahakklihatoodetes ja kontrollproovides leiduvate mikroorganismide keskmiste arvukuste ± standardhälve (SD) võrdlemiseks kasutati t-testi. Tulemus loeti statistiliselt oluliseks kui p-väärtus < 0,05.

Tulemused

Antimikroobse toime uuringud *in vitro* katsetes

Uuringud I–II keskendusid bakterite antimikroobset toimet omavate taimeekstraktide (1:20 m/v) otsingutele, et võrrelda rabarberi (juure ja varre), mustsõstra (marja ja lehe), söödava kuslapuu, aroonia ja astelpaju marjade ning tomati antimikroobset toimet *in vitro*. Erineva kontsentratsiooniga etanooliekstraktide võrdluses avaldus taimsete lisandite antimikroobne mõju enim 96% etanooliekstraktides (joonis 1).



Joonis 1. Taimeekstraktide (1:20 m/v) antimikroobne toime G(+) ja G(-) bakteritele (n = 11) mõõdetuna inhibeerimistsooni diameetrites (mm).

Figure 1. Antimicrobial activity of plant ethanol (96%, 30%, 20%; 1:20 w/v) and water infusions against bacteria (n = 11) in inhibition zones (mm): Rabarberi juur / Rhubarb root; Rabarberi vars / Rhubarb petiole; Mustsõstar / Blackcurrant berry; Aroonia / Chokeberry berry; Mustsõstra leht / Blackcurrant leaf; Söödav kuslapuu / Blue honeysuckle berry; Mustikas / Bilberry; Astelpaju / Sea buckthorn berry; Tomat / Tomato

Kõige tugevam antimikroobne toime ilmnes rabarberi juure ja varre puhul, kui täheldati üheteistkümnest testitud bakteriliigist üheksa puhul (sh nii Gram-positiivsete (G+) kui -negatiivsete (G-) bakterite) kasvu pidurdumist. Suurimad inhibeerimistsoonid mõõdeti rabarberi juure 96% etanooliekstrakti bakterite *C. jejuni* (d = 18 mm), *B. cereus* (d = 16 mm), *B. subtilis* (d = 14 mm), *K. rhizophila* (d = 14 mm) ja *B. pumilus* (d = 14 mm) suhtes. Rabarberi vars inhibeeris

samuti kokku üheksa testitud bakteri kasvu ning inhibeerimistsoonid jäid vahemikku 9–16 mm. Kinnitust leidis ka mustsõstra ja aroonia marjade 96% etanooliekstraktide tugev antibakteriaalne toime, sest ekstraktid inhibeerisid vastavalt üheksa (d = 9–15 mm) ja kaheksa (d = 8–15 mm) testitud bakteriliigi kasvu.

Rabarberi juur osutus efektiivseks ka 30% etanooliekstraktis pidurdades selles seitsme testitud bakteriliigi kasvu, kuid inhibeerimistsoonid (d = 1–4 mm) jäid

väiksemaks võrreldes 96% etanooliekstraktiga ($d = 9\text{--}18$ mm). Mõningasi tulemusi 30% etanooliekstraktis näitasid ka rabarberi vars ja astelpaju mari, mis pärssisid viie testitud bakteriiliigi kasvu, kuid mõõdetud inhibeerimistsoonide diameeter oli siiski väike, jäädes vahemikku 1–5 mm.

Võrreldes 30% etanooliekstraktiga, täheldati taimsete lisandite 20% etanooliekstrakti kasutamisel efektiivsemat antibakteriaalset toimet, kuid see ilmnis eeskätt G(+) bakterite ja vähem G(–) bakterite suhtes. Suurimad inhibeerimistsoonid mõõdeti rabarberi juure 20% etanooliekstrakti, mille puhul mõõdetud inhibeerimistsoonid ($d = 8\text{--}16$ mm) sarnanesid 96% etanooliekstraktiga saadud tulemustele ($d = 9\text{--}18$ mm). Kuigi taimsed lisandid 20% etanooliekstraktis inhibeerisid vaid kolme bakteriiliiki (*B. cereus*, *Y. ruckeri*, *B. Pumilus*), olid mõõdetud inhibeerimistsoonid märkimis-

väärsed ($d = 8\text{--}20$ mm). Silmapaistev oli ka mustsõstra 20% etanooliekstrakti antibakteriaalne toime *B. cereus*'e suhtes ($d = 20$ mm). Taimsete lisandite vesiekstraktide võrdluses täheldati rabarberi juure ja varre toimet vastavalt kuue ja nelja testitud bakteri suhtes. Suurimad inhibeerimistsoonid mõõdeti juurel *C. jejuni* ($d = 10$ mm) ja varrel *B. Subtilis*'e ($d = 9$ mm) suhtes. Tähelepanuväärne on, et sõltumata kasutatavast ekstraktist osutusid taimsetele lisanditele, eeskätt mustsõstra marjadele kõige vastupidavamaks probiootikumidena tuntud *L. acidophilus* ja *B. bifidum*.

Mõningate etanooliekstraktide võrdluses oluliste toidupatogeenide nagu *C. jejuni*, *S. enteritidis*, *B. cereus* ja *L. monocytogenes* suhtes täheldati 96% etanooliekstraktidel oluliselt ($p < 0.001$) suuremat antibakteriaalset toimet võrreldes 20% etanooliekstraktide toimetega (tabel 1).

Tabel 1. Taimede 20 ja 96% etanooliekstraktide (1:20 m/v) antibakteriaalse toime võrdlus oluliste toidupatogeenide ($n = 4$) suhtes (kasvu inhibeerimistsoon (mm) \pm standardhälve)

Table 1. Antimicrobial activity of plant 20 and 96% ethanol (1:20 w/v) against pathogenic bacteria ($n = 4$) in inhibition zones (mm) \pm SD

Taimiekstraktid / Plant extracts	<i>Campylobacter jejuni</i>		<i>Salmonella enteritidis</i>		<i>Bacillus cereus</i>		<i>Listeria monocytogenes</i>	
	20%	96%	20%	96%	20%	96%	20%	96%
Rabarberi juur / <i>Rhubarb root</i>	–	18 \pm 3	–	11,5 \pm 0,7	16	15,5 \pm 2,1	9	11,5 \pm 0,7
Rabarberi vars / <i>Rhubarb petiole</i>	–	12	–	11 \pm 2	11,5 \pm 0,71	12	–	12
Mustsõstar / <i>Blackcurrant berry</i>	–	15 \pm 2	–	10	12	10	–	11 \pm 2
Mustsõstra leht / <i>Blackcurrant leaf</i>	–	13	–	9,5 \pm 0,7	14	10,5 \pm 0,7	–	10
Aroonia / <i>Chokeberry berry</i>	–	15	–	9 \pm 2	10	12	–	10,5 \pm 0,7
Söödäva kuslapuu / <i>Blue honeysuckle berry</i>	–	14 \pm 2	–	9	10	10	–	–

– Toime puudub / No effect detected

Selgus, et 96% etanooliekstrakti *in vitro* uuringus oli taimeekstraktidel kõige tugevam antimikroobne toime vähenemas järjekorras järgmistele toidupatogeenidele: *C. jejuni* > *B. cereus* > *S. enteritidis* > *L. monocytogenes*. Siiski võib öelda, et kõige efektiivsemaks osutus rabarberi juure ja varre 96% etanooliekstrakt ($d = 11\text{--}18$ mm), mis inhibeeris ka testitud bakteriiliikidest kõige vastupidavamaks osutunud *L. monocytogenes*'t ($d = 11\text{--}12$ mm). Kõige tundlikumaks osutunud *C. jejuni* elutegevust inhibeeris nii rabarberi kui ka mustsõstra ja aroonia marja 96% etanooliekstrakt.

Antimikroobse toime uuringud toretes seahakklihatoodetes

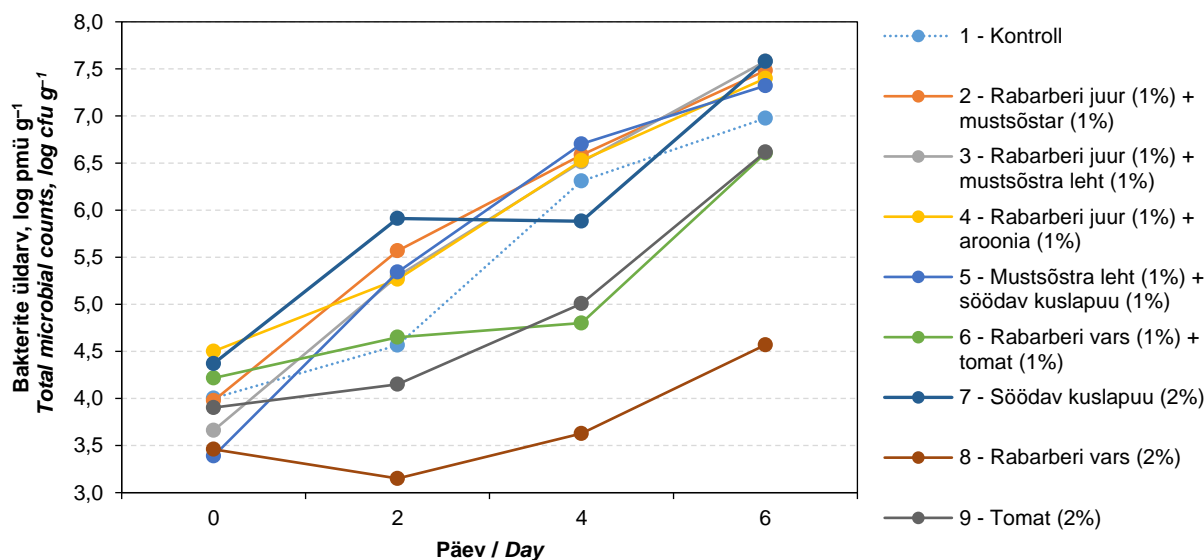
Uuring III keskendus tootekatsetes mikroorganismide kasvu pärssimise suhtes efektiivsete taimsete pulbrites otsingutele. Toidumaatriksina kasutati toorest seahakkliha. Mikroorganismide arvukuse dünaamikaid jälgiti kontrollproovides ja ühe kuni kahe erineva lisandiga rikastatud hakklihaproovides. Vaatluse all oli kuuepäevase uurimisperiodi jooksul taimsete lisandite mikroobide kasvu pärssiv mõju seahakklihas leiduvatele aeroobsetele mesofiilsetele bakteritele (joonis 2) ning hallitus- ja pärmseentele (joonis 3).

Kõikides seahakklihaproovides täheldati enamikel juhtudel sarnast aeroobsete mesofiilsete bakterite arvukuse kasvu kogu säilimisaja jooksul. Katse alguses (0. päeval) oli toretes seahakklihaproovides bakterite

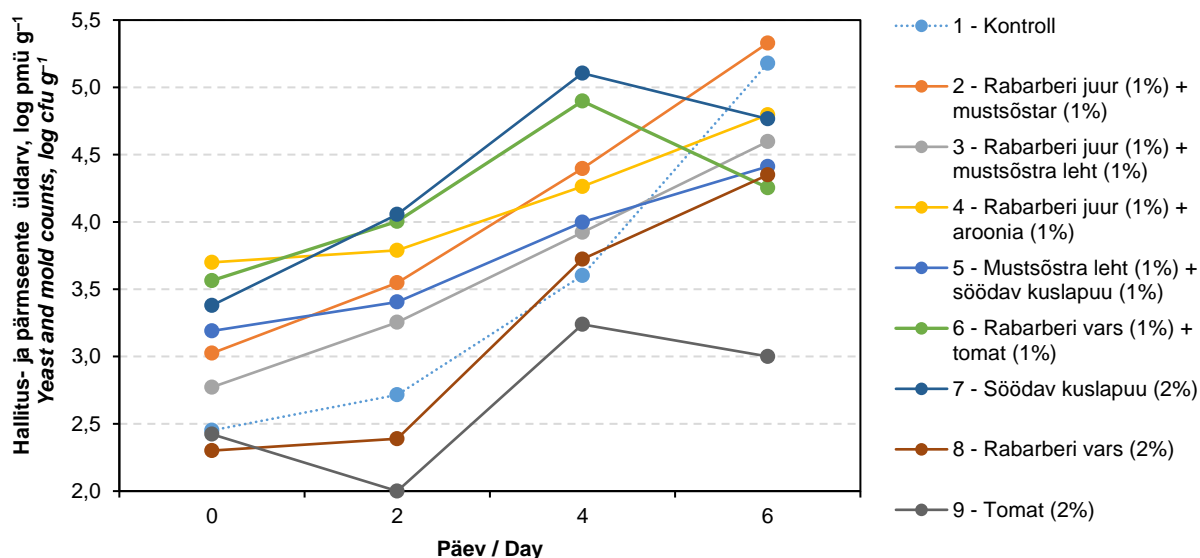
üldarv vahemikus 3,4 \pm 0,12 kuni 4,5 \pm 0,17 log pmü g⁻¹, tõustes uurimisperiodi lõpuks (6. päeval) arvukuseni 4,6 \pm 0,09 kuni 7,58 \pm 0,10 log pmü g⁻¹. Mikroobide kasvu pärssiv toime ilmnis toretes seahakklihatoodetes ainult rabarberi varre ja tomati või nende segu lisandi korral. Täheldati aeroobsete bakterite arvukuse tõusu aeglustumist nelja esimese päeva jooksul. Kui algselt oli antud proovides mikroobide arvukus 3,46–4,22 log pmü g⁻¹, siis neljandaks päevaks tõusis see arvukuseni 3,63–5,01 log pmü g⁻¹, jäädes madalamaks kui kontrollproovi või teiste taimsete lisanditega rikastatud seahakklihatoodete tulemused.

Hallitus- ja pärmseente arvukuse dünaamika toretes seahakklihaproovides on toodud joonisel 3. Hallitus- ja pärmseente arvukus tõusis kõikides uuritud proovides.

Kui katse alguses jäid loendatud tulemused vahemikku 2,30 \pm 0,01 ja 3,56 \pm 0,08 log pmü g⁻¹, siis 6. päeval olid need juba vahemikus 3,00 \pm 0,01 kuni 5,33 \pm 0,09 log pmü g⁻¹. Võrreldes kontrollprooviga, kus hallitus- ja pärmseente arvukus tõusis toretes seahakklihatoodetes algsest 2,45 \pm 0,64 kuni 5,18 \pm 0,57 log pmü g⁻¹, eristusid teistest proovidest rabarberi varre ja tomati lisandit sisaldavad tooteproovid. Võrreldes kontrollprooviga ilmnis neis proovides mõningane hallitus- ja pärmseente kasvu pärssiv toime, kuid teistes lisanditega rikastatud proovides statistiliselt olulist ($p > 0,05$) erinevust võrreldes kontrollprooviga siiski ei täheldatud.



Joonis 2. Aeroobsete bakterite üldarv ($\log \text{pmü g}^{-1}$) taimsete lisanditega rikastatud proovides 0., 2., 4. ja 6. säilituspäeval
Figure 2. Total microbial counts ($\log \text{pmü g}^{-1}$) of raw samples subjected to different treatments after storage time of 0, 2, 4 and 6 days: 1 – Kontroll (toores hakkliha; HL) / Control (raw minced meat; RM); 2 – HL + rabarberi juur (1%) + mustsõstar (1%) / RM with 1% rhubarb root + 1% blackcurrant berry; 3 – HL + rabarberi juur (1%) + mustsõstra leht (1%) / RM with 1% rhubarb root + 1% blackcurrant leaf; 4 – HL + rabarberi juur (1%) + aroonia (1%) / RM with 1% rhubarb root + 1% chokeberry berry; 5 – HL + mustsõstra leht (1%) + söödav kuslapuu (1%) / RM with 1% blackcurrant leaf + 1% blue honeysuckle berry; 6 – HL + rabarberi vars (1%) + tomat (1%) / RM with 1% rhubarb petiole + 1% tomato; 7 – HL + söödav kuslapuu (2%) / RM with 2% blue honeysuckle berry; 8 – HL + rabarberi vars (2%) / RM with 2% rhubarb petiole; 9 – HL + tomat (2%) / RM with 2% tomato



Joonis 3. Hallitus- ja pärmseente üldarv ($\log \text{pmü g}^{-1}$) taimsete lisanditega rikastatud proovides 0., 2., 4. ja 6. säilituspäeval
Figure 3. Yeast and mold counts ($\log \text{pmü g}^{-1}$) of raw samples subjected to different treatments after storage time of 0, 2, 4 and 6 days: 1 – toores hakkliha (HL) / raw minced meat (RM); 2 – HL + rabarberi juur (1%) + mustsõstar (1%) / RM with 1% rhubarb root + 1% blackcurrant berry; 3 – HL + rabarberi juur (1%) + mustsõstra leht (1%) / RM with 1% rhubarb root + 1% blackcurrant leaf; 4 – HL + rabarberi juur (1%) + aroonia (1%) / RM with 1% rhubarb root + 1% chokeberry berry; 5 – HL + mustsõstra leht (1%) + kuslapuu (1%) / RM with 1% blackcurrant leaf + 1% blue honeysuckle berry; 6 – HL + rabarberi vars (1%) + tomat (1%) / RM with 1% rhubarb petiole + 1% tomato; 7 – HL + söödav kuslapuu (2%) / RM with 2% blue honeysuckle berry; 8 – HL + rabarberi vars (2%) / RM with 2% rhubarb petiole; 9 – HL + tomat (2%) / RM with 2% tomato

Arutelu

Tarbijate soov sünteetiliste säilitusainete kasutamise vähendamise osas toidus ning taimsete lisandite potentsiaalne mikroobide kasvu pärssiv toime on üks olulisemaid põhjuseid, miks otsitakse võimalusi nende kasutamiseks toidutehnoloogias. Eesti Maaülikooli toiduhügieeni ja -ohutuse uurimisgrupis läbiviidud

in vitro uuringud kinnitavad, et taimeekstraktid inhibeerivad mikroobide kasvu, kuid antimikroobse toime tugevus sõltub taimsest materjalist, selle ettevalmistusviisist ja sihtmikroorganismist. *In vitro* uuringutes avaldusid kõige selgemalt antimikroobsed omadused eeskätt rabarberi juurel ja varrel, mis inhibeerisid nii G(+) kui ka G(–) bakterite kasvu. Antimikroobse toime olemasolu rabarberi taime

erinevatel osadel on leidnud kinnitust ka teistes *in vitro* uuringutes (Berköz jt, 2017; Sima jt, 2018; Bhattacharjee jt, 2021). Rabarberi antimikroobse toime põhjusena on välja pakutud polüfenoolsete ühendite kõrge sisaldus (Püssa jt, 2009; Berköz jt, 2017), kusjuures rabarberi antimikroobse toimega seostatakse nii stilbenoide (resveratrool, rapontiin, deoksürapontiin jt) kui ka antrakinoone (aaloe-emosiin, krüsofanooli jt) (Smolarz jt, 2013).

Rabarberi juur ja vars näitasid *in vitro* uuringus häid antimikroobseid omadusi ka oluliste toidupatogeenide nagu *C. jejuni*, *B. cereus*, *S. enteritidis* ja *L. monocytogenes* suhtes. Marjadest väärrib tähelepanu mustsõstar. Oluline tulemus on, et mustsõstar ei pidurdanud probiootiliste bakterite nagu *L. acidophilus* ja *B. bifidum* elutegevust, küll aga pärssis mõnede patogeenide nagu *C. jejuni*, *B. cereus*, *S. enteritidis* jt kasvu. Nii on võimalik mustsõstra marjapulbreid edukalt kasutada probiootilistes toiduainetes pärssimata nende mikroorganismide arvukust. Taimsete ekstraktide võime soodustada probiootilise pärmi *Saccharomyces boulardii* kasvu pidurdades samal ajal patogeenide *Candida* liike on leidnud kinnitust Milutinović jt (2021) uuringus. Miladinović jt (2014) uuringus leiti, et fenoolseid ühendeid rikkalikult sisaldanud mustsõstra ekstraktidel on G(+) ja G(-) baktereid pärssiv toime. Sarnaselt eeltoodule, ka meie esimeses uuringus (Raudsepp jt, 2013) leiti, et taimeekstraktide antimikroobne toime ei sõltu bakteri kuuluvusest G(+) või G(-) rühma.

Teatud erinevused ilmnisid meie teises uuringus (Raudsepp jt, 2019), kus 20% etanooliekstraktides olid G(-) bakterid taimsete lisandite mõju suhtes vastupidavamad. Põhjuseks võis olla hüdrofiilsete ühendite passiivse difusiooni piiramine G(-) bakterite lipopolüsahhariidmembraani poolt (Raudsepp jt, 2019). G(-) bakterite sein sisaldab õhukest peptoglykaanikihti ja välismembraani, mida G(+) bakteritel ei leidu. Välismembraani puudumine G(+) bakteritel võib suurendada bioaktiivsete ühendite läbilaskvust rakkudes (Tian jt, 2009). Põhjusi võib olla teisigi, näiteks Zhang jt (2020) leidsid, et suures koguses flavonoide sisaldavad taimeekstraktid inhibeerisid tõhusalt *Staphylococcus aureus*'t, kahjustades rakuseina ja rakumembraani terviklikkust, inhibeerides rakusiseseid ensüüme, muutes geeniekspressiooni ja kutsudes esile bakteriaalse apoptoosi. Samuti on leitud, et hüperpolarisatsioon ja rakusisese tsütoplasma pH langus on olulised bakterirakkude membraanikahjustuse näitajad (Vanhauteghem jt, 2013). Bakteri rakuseina ehitus võib seda mõjutada põhjustades teatud bakteriliikidel kiirema raku hüperpolarisatsiooni (Gonelimali jt, 2018) ning elutegevuse peatumise või mikroobiraku hukkumine (Pisoschi jt, 2018). Bhattacharjee jt (2021) uuringus omas rabarberi varre vesiekstrakt tugevat antibakteriaalset toimet bakterite *E. coli*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *S. aureus* ja *B. subtilis* vastu. Siiski leiti, et G(-) bakterite kasvu pärssimiseks on vaja rabarberi varre kõrgema kontsentratsiooniga

vesiekstrakti. Käesoleva uuringu tulemused on kooskõlas varasemate tulemustega, kus täheldati antimikroobse toime otsest seost ekstraktides leiduva taimse lisandi kontsentratsiooniga (Bhalodia jt, 2011; Gonelimali jt, 2018).

Uuringutega on leitud, et Gram-värvumine ei oma siiski väga olulist rolli antimikroobse toime tugevuses. Näiteks Taguri jt (2006) leidsid, et taimeekstraktide antimikroobne toime ei olnud korrelatsioonis bakteri kuuluvusega G(+) või G(-) hulka, vaid sõltus peamiselt katsesse valitud bakteriliikidest ning taimsete ekstraktide polüfenoolsest koostisest. Samuti leiti, et näiteks pürogalloolirühmi sisaldavad polüfenoolid olid oluliselt aktiivsemad kui katehhooli- või resortsinoolitsüklitega polüfenoolid (Taguri jt, 2006). Ka käesolevas ülevaates leiti, et G(+) ja G(-) bakterite tundlikkus sõltub taimsete lisandite koostises leiduvatest antimikroobsetest ühenditest, sest patogeenide suhtes kõige efektiivsemaks osutunud rabarberi juures sisaldus suures koguses trans-resveratrooli, emodiini ning mitmeid teisi hüdrofoobseid stilbenoide ja hüdroksüantrakinoone, mis avaldasid antimikroobset toimet nii G(+) kui ka G(-) bakteritele (Raudsepp jt, 2018). Antimikroobse toime tugevuse sõltuvus bakteri liigist on tõendatud ka Bouarab-Chibane jt (2019) ning Oulahal ja Degraeve (2022) uuringutes.

Käesolevas *in vitro* uuringus oli taimeekstraktidel kõige tugevam antimikroobne toime *C. jejuni* suhtes. *C. jejuni* sage esinemine broilerilihas ja seos kampülobakterenteriidiga (Mäesaar jt, 2014; 2018) loob vajaduse sellega seonduvate rahvatervise riskide maandamiseks. Uuringute *in vitro* katsetes leiti taimsete lisandite hulgast sobivaid kandidaate, näiteks rabarber, mustsõstar ja aroonia, pärssimaks kampülobakterite elutegevust. Taimsete lisandite mõju efektiivsuse hindamine tootekatsetes vajab siiski veel lisauuringuid. Taimsed lisandid on võimelised mõjutama ka patogeenide virulentsust. Sima jt (2018) uuringus leidis kinnitust, et tsitruseliste, viinamarjaseemnete ja hariliku pune ekstraktid vähendavad tõhusalt kampülobakteritest *C. jejuni* ja *C. coli* virulentsust nii *in vitro* kui ka *in vivo*.

Taimede antimikroobse toime efektiivsus meie *in vitro* uuringutes sõltus ekstraheerimisel kasutatud lahustist. Raudsepp jt (2019) uuringus leidis kinnitust solvendist sõltuv polüfenoolsete ühendite profiil erinevates taimeekstraktides. Kõige tugevam antimikroobne toime ilmnis 96% etanooliekstraktides võrreldes 20–30% etanooliekstrakti või vesiekstraktiga. Tulemus viitab asjaolule, et antibakteriaalse toimega polüfenoolsed ühendid on enamasti hüdrofoobse struktuuriga, mõjutades kõige enam sihtmikroorganismide membraani läbilaskevõimet (Oulahal, Degraeve, 2022). Gonelimali jt (2018) uuringus leidis kinnitust taimsete lisandite, nii etanooli- kui ka vesiekstraktide, antimikroobne toime toidupatogeenide ja toidu riknemist esile kutsuvatele mikroorganismidele suhtes. Sarnaselt meie tulemustele oli antimikroobne toime suurem etanooliekstraktide puhul.

Tuginedes käesolevasse ülevaatesse koondatud uuringute tulemustele saab järeldada, et taimsed lisandid, mille antimikroobne toime on suurem etanooliekstraktides, sisaldavad rohkem hüdrofoobseid põlufenoolseid ja ka muid antimikroobse toimega ühendeid, mistõttu sobivad rohkem rasvarikkamates toodetes kasutamiseks (Raudsepp jt, 2013; Anton jt, 2019). Samas tuleb arvestada, et rasvarikkamates toitudes võib bakteritele moodustuda mikroobe kaitsev lipiidkiht, mis omakorda vähendab antimikroobsete ühendite toimet (Cabral jt, 2013).

Kui *in vitro* uuringud taimsete lisandite polüfenoolide antimikroobse efektiivsuse kohta on olnud paljulubavad (Bouarab-Chibane jt, 2019), siis toidukatsetes on täheldatud taimsete lisandite antimikroobse toime vähenemist sõltuvalt toidumaatriksi koostisest ja selle algsest mikrobiotast (Oulahal, Degraeve, 2022).

Meie seahakkliha toodete katsetes lisati taimsed materjalid tooresse hakklihasse pulbri kujul. Taimepulbrid segunevad hakklihase kergesti ja ühtlaselt ning sobivad hästi kasutamiseks ka toidutööstuses (Anton jt, 2019). Pulber on ka rikkalikum erineva hüdrofoobusega ainete poolest, mis liiguvad lihamaatriksis erinevatesse aladesse, kui mistahes ekstrakt. Toidu mikrobioloogilised uuringud teostati kestvuskatsete põhimõttel, kus toidu mikrobioloogilise kvaliteedi hindamiseks kasutatakse eelkõige mikroobide üldarvude määramist. Katsetulemused näitasid, et rabarberil on nõrgem antimikroobne toime tooretas seahakkliha toodetes võrreldes *in vitro* uuringute tulemustega. Seda saab selgitada asjaoluga, et *in vitro* katsetes puudusid toidumaatriksist tingitud toime inhibiitorid. Mikroobide kasvu toores hakklihase mõjutab nii tooraine algne mikrobioloogiline kvaliteet (mikroobide liigiline koostis ja kontsentratsioon) kui ka tooraine keemiline koostis. On leitud, et looduslike polüfenoolsete ühendite antimikroobset toimet toidus mõjutab ebasoodsalt pH tõus, madal veeaktiivsus ning keedusoola, rasva ja liitsüsiivesikute sisaldus toidus (Kalogianni jt, 2020). Polüfenoolsete ühendite hüdrofoobne olemus hõlbustab nende akumulereerumist rasvas, mistõttu liha kõrge rasvasisaldus ei soodusta nende kontakti liha hüdrofiilse faasis kogunevate patogeensete mikroorganismidega (Larson jt, 1996). Ka toidu koostises olevad valgud võivad moodustada polüfenoolsete ühenditega tugevaid komplekse, mis võib vähendada taimsete lisandite antimikroobset võimet. Senised uuringud on andnud vastuolulisi tulemusi, mistõttu on vajalikud täiendavad uuringud valkude mõjust polüfenoolsete ühendite antimikroobsele toimele (Ozidal jt, 2013).

Käesolevas ülevaates selgus, et aeroobsete mesofiilsete mikroorganismide kasvu on võimalik inhibeerida kombineerides tootes rabarberi varre ja tomati pulbrite segu. Hallitus- ja pärmseente arvukust aitas tooretas seahakkliha proovides samuti kõige enam ohjata rabarberi juure või tomati lisand, v.a nende kahe lisandi kombinatsioon.

Kokkuvõte

Ülevaates leiti, et mõnede taimsete lisandite etanooliekstraktid omavad antibakteriaalset toimet patogeensetele bakteritele *in vitro* ning mõningad taimsed pulbrid omavad mikroobide kasvu pärssivat toimet tooretas seahakkliha toodetes. Siiski vajab *in vitro* katsetes efektiivseks osutunud taimsete lisandite või nende kombinatsioonide mõju erinevates toidumaatriksites täiendavat uurimist nakatamiskatsete abil, eriti *L. monocytogenes*'e kasvu suhtes valmistoitutes. Senised *in vitro* katsed valitud patogeenidega näitasid, et taimsest materjalist, eeskätt rabarberi juur ja vars ning marjadest mustsõstar ja aroonia omavad toidus kasutamise potentsiaali. Tooretas seahakkliha toodetes avaldusid parimad antimikroobsed omadused rabarberi varre ja tomati pulbri kombinatsioonil. Seega osutus rabarber efektiivseks nii *in vitro* kui ka toorete seahakkliha toodete katsetes.

Edasistes uuringutes on oluline keskenduda komplekssetele analüüsidele, et välja selgitada efektiivseteks osutunud taimsete lisandite antimikroobset toimet mõjutavad ühendid ja nende antagonistlikud või sünergistlikud koostoimed, seonduvad toimemehhanismid ja taimse materjali optimaalne kontsentratsioon toidus. Samuti vajab väljaselgitamist taimsete lisandite toidutööstuses kasutamise potentsiaal k.a majanduslik tasuvus.

Tänuavaldused

Uuringuid on finantseerinud:

- Eesti Teadusagentuur (PRG1441) "Looduslike bioaktiivsete ainete toimet mehhhanismide uurimine loomsetes toitudes",
- projekt P180279VLTR "Looduslike bioaktiivsete ainete toime ning seonduvate mehhhanismide uurimine toidumaatriksites",
- projekt P170054VLTH "Toidutaimede metaboolika ning sekundaarsete metaboliitide antioksidantse ja antibakteriaalse toime intensiivsuse ja mehhhanismide uurimine",
- projekt 8-2/T15024VLTH "Säästvad taimsed lisandid tervislikumate liha toodete saamiseks – ideede töestamine".

We would like to express thank to the Estonian Research Council (Project No PRG1441), the Estonian University of Life Sciences (Projects No P180279VLTR and P170054VLTH) and Ministry of Agriculture (Project No 8-2/T15024VLTH).

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panused / Authors contributions

Kõigil autoritel oli võrdne panus publikatsiooni koostamisel ja valmimisel.

All authors had an equal contribution to making and compilation of the publication.

Kasutatud kirjandus

- Anton, D., Koskar, J., Raudsepp, P., Meremäe, K., Kaart, T., Püssa, T., Roasto, M. 2019. Antimicrobial and antioxidative effects of plant powders in raw and cooked minced pork. – *Foods*, 8(12):1–18. DOI: 10.3390/foods8120661.
- Anton, D., Matt, D., Pedastsaar, P., Bender, I., Kazimierczak, R., Roasto, M., Kaart, T., Luik, A., Püssa, T. 2014. Three-year comparative study of polyphenol contents and antioxidant capacities in fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars grown under organic and conventional conditions. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(22):5173–5180. DOI: 10.1021/jf500792k.
- Amit, S.K., Uddin, M.M., Rahman, R., Islam, S.M.R., Khan, M.S. 2017. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. – *Agriculture & Food Security*, 6(51):1–22.
- Berköz, M., Yıldırım, M., Allahverdiyev, O., Krošniak, M., Francik, R., Bozan, N., Yalın, S. 2017. Antioxidant, antibacterial and antiproliferative activities of Turkish rhubarb (*Rheum palmatum* L.) leaf extracts. – *Proceedings*, 1, 1032. DOI: 10.3390/proceedings1101032.
- Bhalodia, N.R., Shukla, V.J. 2011. Antibacterial and antifungal activities from leaf extracts of Cassia fistula L.: an ethnomedicinal plant. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 2(2):104–109. DOI: 10.4103/2231-4040.82956
- Bhattacharjee, W.N., Bommareddy, P.K., DePass, A.L. 2021. A water-soluble antibiotic in rhubarb stalk shows an unusual pattern of multiple zones of inhibition and preferentially kills slow-growing bacteria. – *Antibiotics*, 10(8):951:1–13. DOI: 10.3390/antibiotics10080951
- Bisset, N.G., Wichtl, M. 1994. Herbal drugs and phytopharmaceuticals: A handbook for practice on scientific basis. – Stuttgart: Medpharm Scientific Publishers, 91–95.
- Bouarab-Chibane, L., Forquet, V., Lantéri, P., Clément, Y., Léonard-Akkari, L., Oulahal, N., Degraeve, P., Bordes, C. 2019. Antibacterial properties of polyphenols: characterization and QSAR (Quantitative Structure–Activity Relationship) models. – *Frontiers in Microbiology*, 10:829. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00829
- Cabral, L.C., Pinto, V.F., Patriarca, A. 2013. Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods. – *International Journal of Food Microbiology*, 166(1):1–14. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.026
- Chibane, L.B., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J., Oulahal, N. 2018. Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4):1457–1474. DOI: 10.1002/jsfa.9357.
- EVS-EN ISO 4833-2:2013. Microbiology of the food chain – Horizontal method for the enumeration of microorganisms – Part 2: Colony count at 30 degrees by the surface plating technique (ISO 4833-2:2013).
- EVS-ISO 21527-1:2009. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds – Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0.95 (ISO 21527-1:2008).
- EVS-EN ISO 6887-2:2017. Microbiology of the food chain – Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination – Part 2: Specific rules for the preparation of meat and meat products (ISO 6887-2:2017).
- Gonellimali, F.D., Lin, J., Miao, W., Xuan, J., Charles, F., Chen, M., Hatab, S.R. 2018. Antimicrobial properties and mechanism of action of some plant extracts against food pathogens and spoilage microorganisms. – *Frontiers in Microbiology*, 9:1–9.
- Kalogianni, A.I., Lazou, T., Bossis, I., Gelasakis, A.I. 2020. Natural phenolic compounds for the control of oxidation, bacterial spoilage, and foodborne pathogens in meat. – *Foods*, 9(6):794. DOI: 10.3390/foods9060794.
- Koskar, J., Kramarenko, T., Meremäe, K., Kuningas, M., Sögel, J., Mäesaar, M., Anton, D., Lillenberg, M., Roasto, M. 2019. Prevalence and numbers of *Listeria monocytogenes* in various ready-to-eat foods over a 5-year period in Estonia. – *Journal of Food Protection*, 82(4):597–604. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-18-383
- Kramarenko, T., Roasto, M., Mäesaar, M., Maugliani, A., Tozzoli, R., Meremäe, K., Elias, T., Kuningas, M. 2016. Pheno-genotypic characterization of *Escherichia coli* O157:H7 strains isolated from cattle at slaughter. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 16(11):703–708. DOI: 10.1089/vbz.2016.1961
- Kuus, K., Kramarenko, T., Sögel, J., Mäesaar, M., Fredriksson-Ahomaa, M., Roasto, M. 2021. Prevalence and serotype diversity of *Salmonella enterica* in the Estonian meat production chain in 2016–2020. *Pathogens*, 10(12):1–9. DOI: 10.3390/pathogens10121622
- Larson, A.E., Yu, R.R.Y., Lee, O.A., Haas, G.J., Johnsona, E.A. 1996. Antimicrobial activity of hop extracts against *Listeria monocytogenes* in media and in food. *Food Microbiology*, 33:195–207. DOI: 10.1016/0168-1605(96)01155-5
- Lorenzo, J.M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F.J., Putnik, P., Kovačević, D.B., Shpigelman, A., Granato, D., Franco, D. 2018. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Research International*, 106:1095–1104. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.12.005
- Miladinović, B., Kostić, M., Šavikin, K., Đorđević, B., Mihajilov-Krstev, T., Živanović, S., Kitić, D. 2014. Chemical profile and antioxidative and antimicrobial activity of juices and extracts of 4 black currants varieties (*Ribes nigrum* L.). *Journal of Food Science*, 79(3):C301–C309. DOI: 10.1111/1750-3841.12364
- Milutinović, M., Dimitrijević-Branković, S., Rajilić-Stojanović, M. 2021. Plant extracts rich in poly-

- phenols as potent modulators in the growth of probiotic and pathogenic intestinal microorganisms. *Frontiers in Nutrition*, 8:1–11. DOI: 10.3389/fnut.2021.688843
- Mostafa, A.A., Al-Askar, A.A., Almaary, K.S., Dawoud, T.M., Sholkamy, E.N., Bakri, M.M. 2018. Antimicrobial activity of some plant extracts against bacterial strains causing food poisoning diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2):361–366. DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.02.004
- Mäesaar, M., Meremäe, K., Ivanova, M., Roasto, M. 2018. Antimicrobial resistance and multilocus sequence types of *Campylobacter jejuni* isolated from Baltic broiler chicken meat and Estonian human patients. *Poultry Science*, 97(10):3645–3651. DOI: 10.3382/ps/pey219
- Mäesaar, M., Praakle, K., Meremäe, K., Kramarenko, T., Sögel, J., Viltrop, A., Muutra, K., Kovalenko, K., Matt, D., Hörman, A., Hänninen, M.-L., Roasto, M. 2014. Prevalence and counts of *Campylobacter* spp. in poultry meat at retail level in Estonia. *Food Control*, 44:72–77. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.03.044
- Oulahal, N., Degraeve, P. 2022. Phenolic-rich plant extracts with antimicrobial activity: an alternative to food preservatives and biocides? *Frontiers in Microbiology*, 12:753518. DOI: 10.3389/fmicb.2021.753518
- Ozidal, T., Capanoglu, E., Altay, F. 2013. A review on protein-phenolic interactions and associated changes. *Food Research International*, 51:954–970. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.02.009
- Pisoschi, A.M., Pop, A., Georgescu, C., Turcuş, V., Olah, N.K., Mathe, E. 2018. An overview of natural antimicrobials in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143:922–935. DOI: 10.1016/j.ejmech.2017.11.095
- Prakash, B., Kujur, A., Singh, P.S., Kumar, A., Yadav, A. 2017. Plants-derived bioactive compounds as functional food ingredients and food preservative. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2(1):1–7.
- Püssa, T., Raudsepp, P., Kuzina, K., Raal, A. 2009. Polyphenolic composition of roots and stalks of *Rheum rhaponticum* L. *Phytochemical Analysis* 20:98–103. DOI: 10.1002/pca.1102
- Raudsepp, P., Anton, D., Roasto, M., Meremäe, K., Pedastsaar, P., Mäesaar, M., Raal, A., Laikoja, K., Püssa, T. 2013. The antioxidative and antimicrobial properties of the blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.), Siberian rhubarb (*Rheum rhaponticum* L.) and some other plants, compared to ascorbic acid and sodium nitrite. *Food Control*, 31:129–135. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.10.007
- Raudsepp, P., Koskar, J., Anton, D., Meremäe, K., Kapp, K., Laurson, P., Bleive, U., Kaldmäe, H., Roasto, M., Püssa, T. 2019. Antibacterial and antioxidative properties of different parts of garden rhubarb, blackcurrant, chokeberry and blue honeysuckle. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5):2311–2320. DOI: 10.1002/jsfa.9429
- Roasto, M. 2019. Indikaatormikroorganismid toidus. *Terve Loom ja Tervislik Toit*. Eesti Maaülikool, Vali Press OÜ, ISBN 978-9949-629-66-4: 8–16.
- Sima, F., Stratakos, A. C., Ward, P., Linton, M., Kelly, C., Pinkerton, L., et al. 2018. A novel natural antimicrobial can reduce the *in vitro* and *in vivo* pathogenicity of T6SS positive *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* chicken isolates. *Frontiers in Microbiology*, 9:2139. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02139
- Smolarz, H.D., Swatko-Ossor, M., Ginalska, G., Medyńska, E. 2013. Antimycobacterial effect of extract and its components from *Rheum rhaponticum*. *Journal of AOAC International*, 96(1):155–160. DOI: 10.5740/jaoacint.12-010
- Zhang, L.L., Zhang, L.F., Xu, J.G. 2020. Chemical composition, antibacterial activity and action mechanism of different extracts from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.). *Scientific reports*, 10(1):8876. DOI: 10.1038/s41598-020-65802-7.
- Taguri, T., Tanaka, T., Kouno, I. 2006. Antibacterial spectrum of plant polyphenols and extracts depending upon hydroxyphenyl structure. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 29(11):2226–2235. DOI: 10.1248/bpb.29.2226
- Tian, F., Li, B., Ji, B., Yang, J., Zhang, G., Chen, Y., Luo, Y. 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of consecutive extracts from *Galla chinensis*: The polarity affects the bioactivities. *Food Chemistry*, 113:173–179. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.062
- Vanhauteghem, D., Janssens, G. P., Lauwaerts, A., Sys, S., Boyen, F., Cox, E., Mayer, E. 2013. Exposure to the proton scavenger glycine under alkaline conditions induces *Escherichia coli* viability loss. *PLoS One* 8: e60328. DOI: 10.1371/journal.pone.0060328.

Review of studies on the antimicrobial activity of plant additives *in vitro* and in raw minced pork products

Kadrin Meremäe, Julia Koskar, Tõnu Püssa, Piret Raudsepp, Dea Anton, Mati Roasto

Estonian University of Life Sciences, Institute of Veterinary Medicine and Sciences, Chair of Veterinary Biomedicine and Food Hygiene, Fr. R. Kreutzwaldi 56/3, 51014 Tartu, Estonia

Summary

Concerns regarding possible adverse health effects of synthetic food additives, including food preservatives, have increased consumers' demand for the use of natural antimicrobials in foods. This growing public demand led scientists to carry out new complex studies to find out the antimicrobial and microbial growth inhibiting effects of different plant materials both *in vitro* and in raw minced pork products. In nature, there are different natural antimicrobial compounds which play an important role in the natural defense of plants, therefore possibly having antimicrobial effects against certain microbes. The aim of this study is to provide a

comprehensive overview of the different studies that have been carried out over the years in Estonian University of Life Sciences, focusing on *in vitro* and raw minced pork products based antimicrobial and microbial growth inhibiting studies of different plant additives.

Antimicrobial effect of plant extracts was determined against Gram-positive *Bacillus subtilis* (BGA), *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Bacillus pumilus* (CV 607), *Kocuria rhizophila* (ATCC 9341), *Lactobacillus acidophilus* (ATCC 4356), *Bifidobacterium bifidum* (Bb12), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), and Gram-negative *Salmonella* Enteritidis (ATCC 13076), *Escherichia coli* (NCCB 100282), *Yersinia ruckeri* (NCIM 13282), *Campylobacter jejuni* (ATCC 33291). Antimicrobial activity testing was performed by modified agar well-diffusion method. The EVS-EN ISO 4833-2:2013 standard was followed for the determination of total microbial counts, and the EVS-ISO standard 21527-1:2009 standard was followed for the enumeration of yeasts and molds.

In vitro studies revealed that the strongest bacterial growth inhibition was observed in the 96% ethanol extracts of rhubarb root and petiole as well as berries of blackcurrant and chokeberry. The inhibitory effect of plant ethanol extracts on the tested bacteria was found more effective compared to plant water extracts. Plant extracts had the strongest antimicrobial activity against *C. jejuni*. In raw minced pork products, studies the total microbes as well as yeasts and molds were inhibited in raw minced pork products only in the presence of powders of rhubarb petioles and tomato or their mixture. Similarly to *in vitro* studies, rhubarb showed the best microbial growth inhibition effect in raw minced pork products as well.

In conclusion, this work found that powders of rhubarb, tomato and berries of blackcurrant and chokeberry are perspective candidates for inhibiting microbial growth in raw minced pork products.



LEETUNUD MULD ON EESTI AASTA 2023 MULD PODZOLIC SOIL IS THE YEAR 2023 SOIL OF ESTONIA

Raimo Kõlli, Tõnu Tõnutare

Eesti Maailikool, põllumajandus ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu

Saabunud: 01.01.2023
Received:

Aktsepteeritud: 17.03.2023
Accepted:

Avaldatud veebis: 30.09.2023
Published online:

Vastutav autor: Raimo Kõlli
Corresponding author:

E-mail: raimo.kolli@emu.ee

ORCID:
0000-0002-7725-3757 (RK)
0000-0001-8592-7945 (TT)

Keywords: *Umbric Podzol, year soil, humus status, Podzolic soil, matrix of soil classification, moderate humus cover*

DOI: 10.15159/jas.23.08

ABSTRACT. For the Year 2023 Soil of Estonia by the Estonian Soil Science Society was elected the Podzolic or podzolized soil, which is known by the World Reference Base for Soil Resources (WRB) as *Umbric Podzol*. In introduction of actual review the Podzolic soils' morphology and their subdivision principles (by moisture conditions and profile development) are analysed. By the Estonia Soil Classification totally seven species of podzolized automorphic soils have been separated, from which each species have an original code used in the soil mapping. By mean of schematic map is characterized the distribution of these soils in Estonia, but by mean of normally developed soils' matrix the co-evolution with other soil species. Podzolic soils are formed totally 5.0% from the total Estonian soil cover, but 4.3% from the forest and 5.2% from the arable land. Special attention was payed to humus status of these soils, characterizing among others humus cover (or humipedons) fabric and essential properties separately on forest and arable lands. Beside of depending on soil texture, moisture conditions and land use, soil quantitative characteristics (given by soil species or by soil groups), as well the results of comparative analysis and using peculiarities of Podzolic soils in agricultural practice have been explained. At end of the review the possibilities for characterizing Podzolic soils' species and varieties peculiarities by mean of principal and supplemental qualifiers WRB is explained.

© 2023 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2023 Estonian Academic Agricultural Society.

Leetunud muldade ülesehitus ja tunnused

Leetunud muldkatte vertikaalses läbilõikes (profiilis) on olemas mõõdukalt või tugevasti happeline humus-(A), leet-(Ea) ja humus-(Bh) või raudilluviaalne (Bs) sisseuhtehorisont. Nõrga leetumise korral võib leethorisont puududa, kuid kindlasti on olemas sisseuhtehorisont ja muld on tugevalt või mõõdukalt happeline. Leetumise määra näitab leet- või liithorisondi (EaB) esinemine kõrval ka sisseuhtehorisondi (Bh, Bs või Bhs) koostis. Looduslikke leetunud muldi katab pinnalt ühe- või mitmekihiline metsa- või rohumaade kõdu ehk O-horisont. Muldkate lasub mulla lähtekivimil, milles mullatekkeprotsesside mõju praktiliselt puudub. Gleistunud (niiskeid) leetunud muldi eristab parasniisketest roostetäppide ja -laikude või glei-laikude olemasolu alusmullas (Bg) ja lähtekivimis (Cg) (joonis 1). Üldreeglina on leetunud muldade kõik horisondid reaktsioonilt happelised ning neis puuduvad („kihise“ testiga määratavad) vabad karbonaadid.

Leetunud (Lk) ja gleistunud leetunud (Lkg) mullad jaotatakse väljauhte- ja sisseuhtehorisontide väljakujunemise selguse järgi kolmeks (tabel 1). Väljauhte- (Ea või EaB) ja sisseuhtehorisontide tüsedused korreleeruvad positiivselt – mida mahukam on väljauhte, seda mahukam on ka sisseuhte. Seega suurenevad muldkatete tüsedused nõrgalt leetunud muldadel tugevalt leetunute suunas. Raskema lõimise korral (liivsavi, savi) on kõigi horisontide tüsedused õhukesemad võrreldes kerge lõimisega (liiv, saviliiv) muldadega. Leetumise määra näitab ka humus- ja leethorisondi vahekord, olles nõrgal leetumisel $A > Ea$ või $\frac{1}{2}EaB$, keskmisel $A \approx Ea$ või $\frac{1}{2}EaB$ ja tugeva leetumise korral $A < Ea$ või $\frac{1}{2}EaB$. Tavaliselt on parasniisked mullad väga õhukeselt, õhukeselt või mõõdukalt leetunud, kuid gleistunud leetunud mullad valdavalt õhukeselt, mõõdukalt või sügavalt leetunud. See näitab, et leetumise protsess kulgeb intensiivsemalt niisketes muldades, millede pealismullad on pikema aja jooksul liigniisked.





Joonis 1. Leetunud muldade profiilid (a – LkI; b – LkG; c – LkIIg; d – LkIIIg ja e – LkIIIg). Fotod: Endla Asi ja Mullateaduse õppetooli õppekogu

Figure 1. Profiles of Podzolic soils (a – LkI; b – LkG; c – LkIIg; d – LkIIIg and e – LkIIIg; for soil names see Table 1)

Tabel 1. Leetunud muldade nomenklatuur Eesti muldade klassifikatsioonis (EMK) ja 1:10000 kaartidel

Table 1. Nomenclature of Podzolic soils in Estonian soil classification (ESC) and on 1:10,000 soil maps

Kood Code	Mulla liik / Soil species	Tüüpprofiil Typical profile
Lkp	Põuakartlik leetunud muld <i>Drought timid podzolic soil</i>	[O] ¹ +A–B–C
LkI	Nõrgalt leetunud muld <i>Weakly podzolized soil</i>	[O]+A–(Ea/EaB)–B–C
LkII	Keskmiselt leetunud muld <i>Moderately podzolized soil</i>	[O]+A–Ea/EaB–Bhs–C
LkIII	Tugevalt leetunud muld <i>Strongly podzolized soil</i>	[O]+A–Ea(EaB)–Bhs–C
LkIg	Gleistunud nõrgalt leetunud muld <i>Gleyed weakly podzolized soil</i>	[O]+A–(Ea/EaB)–Bg–Cg
LkIIg	Gleistunud keskmiselt leetunud muld <i>Gleyed moderately podzolized soil</i>	[O]+A–Ea/EaBg–Bhs–Cg
LkIIIg	Gleistunud tugevalt leetunud muld <i>Gleyed strongly podzolized soil</i>	[O]+A–Eag(EaBg)–Bhs–Cg

[O]¹ – kõduhorisont, mis esineb vaid looduslikel metsa- ja rohumaamuldadel

O-horizon, presented only on natural forest and grassland soils

Eesti mullakaartidel ja ka andmebaasides kasutatakse mulla liiginimetuse asemel nende koode, milliste iga tähemärk iseloomustab mingit kindlat omadust (tabel 1, esimene tulp): **L** – muld on kujunenud leetumise mõjul; **Lk** – lisaks leetumisele on toimunud ka kamardumine (mulla profiilis esineb huumus-(A-) horisont; **I–III** – tähistab leetumise astet, mida näitab selgemini välja kujunenud leet- või leetumise pesadega sisseuhte-

(EaB)horisont ning ka selgemini nähtavad huumuse (**h**) ja raudoksiidide (**s**) akumulatsiooni tunnused B horisondis; **g** mulla koodis tähendab alusmulla ja lähtekivimi liigniiskust, mida näitavad roostetäpid ning rooste- ja gleilaigud nendes horisontides; **p** näitab, et muld on põuakartlik ehk taimede omastatav veevaru 75 cm mullakihiis on alla 50 mm.

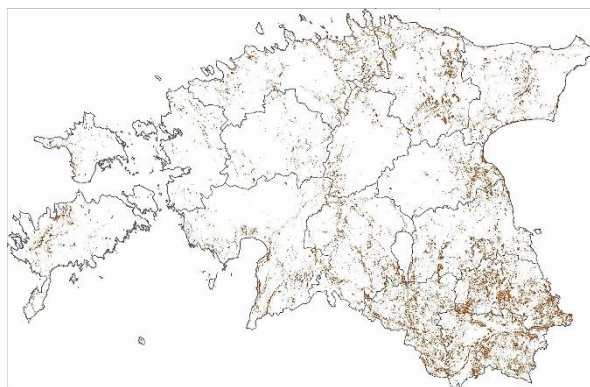
Mullaliikide tüüpprofiilid on erinevad haritavatel ja looduslikel muldadel huumuskatte (pealismulla ehk humipedoni) ülesehituse poolest (tabel 1, kolmas tulp). Kui looduslikus olekus muldadel on pealmiseks kihiks kas metsa- või rohumaakõdu, siis haritavatel maadel on selleks huumushorisont kuna kõduhorisont neil puudub. Üldreeglina on looduslike muldade huumushorisondid huumuse kontsentratsioonilt rikkamad, kuid samas on nad õhukesemad võrreldes haritavate muldodega.

Üldistatult võttes, koosneb leetunud muldkate kahest kihist – huumuskattest ja selle all paiknevast alusmullast. Muldkatte alune kiht (C-horisont) on olemuselt muldkatte väline, olles edaspidise muldkatte tuseduse kasvu reserviks ja ka taimede omastatava (produktiivse) mullavee mahutiks. Leetunud muldade huumuskate koosneb haritavatel maadel huumushorisondist, kuid metsamaadel lisandub sellele (mineraalmulla väline) metsakõdu horisont. Leetunud muldade alusmulla moodustavad välja- ja sisseuhtehorisondid. Leetunud muldade tusedus, mis sõltub mulla leetumise astmest, on keskmiselt vahemikus 60–90 cm.

Pedoni ehk võimalikult väiksema horisontaalse pindalaga mullasamba leetumise astme määramine ei ole üldiselt kuigi keerukas. Samas on seoses erinevate leetumise astmetega muldade suurele varieeruvusele muldkattes ja väikese pindala tõttu neid tihtipeale praktiliselt võimatu eristada mullakaardi kontuuride abil. Taolistel juhtudel on kontuuri mullanimeks pandud üksnes leetunud muld (Lk). Juhul kui kontuuris mõni leetunud mulla liik domineerib (> 70%), siis võetakse see ka mullakontuuri koondnimetuseks. Kirju mullastikuga aladel kasutatakse ka valemit, mille abil saab näidata erinevate mullaliikide osakaalu protsentides.

Leetunud muldade asend teiste Eesti muldade hulgas

Leetunud muldade levikut Eestis kajastab joonis 2. Leetunud muldade peamised levialad on Kagu-Eestis (Kanepi, Antsla, Varstu, Rõuge, Misso, Vastseliina, Värskla ja Põlva ümbruses) ning Põhja-Eestis (Põhja-Kõrvemaal ja Kunda ümbruses). Vähesel määral on leetunud muldi ka Edela-Saaremaal ja Lääne-Hiiumaal. Leetunud mullad moodustavad kokku 5% Eesti maismaast. Nende osakaal metsamaadest on 4,3% ja haritavatest maadest 5,2%.

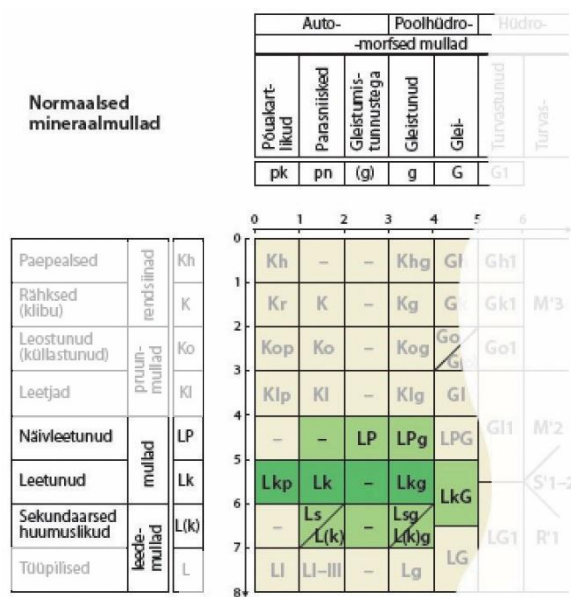


Joonis 2. Leetunud muldade levik
Figure 2. Distribution of Podzolic soils

Leetunud muldade seotust geneetiliselt lähedaste muldadega ja paiknemist teiste muldade hulgas kajastab normaalse arenguga muldade maatrikstabel (joonis 3). Mistahes piirkonna mullakoosluste domineerivatele mullaliikidele lisanduvad tavaliselt neile geneetiliselt lähedased mullad. Geneesilt kontrastsemate mullaliikide esinemine kooslustes viitab kontrastsete ökoloogiliste tingimuste olemasolule, kas lähtekivimi, veeolude või maakasutusviiside osas. Mistahes ala mullastikulist mitmekesisust (*pedodiversity*) on vaja arvestada taim-muld vastastikuste suhete selgitamisel, täppisviljeluse rakendamisel kui ka mistahes maa-ala orgaanilise süsiniku akumulatsioonivõime määramisel.

Leetunud muldadele arengult lähedased mullakooslused esindatud mullad võivad erineda veeolude, nõrga kamardumise või sekundaarse leetumise poolest. Veeolude osas piirnevad gleistunud ehk niisked mullad leetunud glei- (LkG) ehk märgade muldadega. Leetunud muldadelt leedemuldade ülemineku alal võivad esineda

kas nõrgalt kamardunud leedemullad (L(k), L(k)g) või, leetunud liivmuldade looduslikku seisujätmise korral, sekundaarsed leedemullad (Ls, Lsg). Erinevus kahkjatest muldadest kajastub kahekihilise lõimisekihi (liiv või saviliiv liivsavi) pealmise osa profiili arengus seoses suurema happesuse ja vabade karbonaatide puudumisega mullas. Erosioonist häiritud piirkondades võib algne leetunud mulla huumuskate olla muutunud veeerosiooni toimetel. Olenevalt ala kallakusest on kujunenud kas nõrgalt, keskmiselt või tugevasti erodeeritud leetunud mullad.



Joonis 3. Leetunud muldade asend normaalse arenguga mineraalmuldade maatriksil. Tumeroheline – leetunud mullad, heleroheline – kaasnevad mullad

Figure 3. Position of Podzolic soils on the normally developed mineral soil matrix. Dark green – Podzolic soils, light green – accompanying soils (Normaalised mineraalmullad – Normal mineral soils: LP – Pseudopodzolic soils, Lk – Podzolic soils, Ls – Secondary podzols, and L(k) – Humic podzols; Moisture conditions: pk – drought timid, pn – normally moistened, (g) weakly gleyed, g – gleyed or moist, and G – glei- or wet). For using of soils' matrixes see Astover, 2012 pages 264-265.

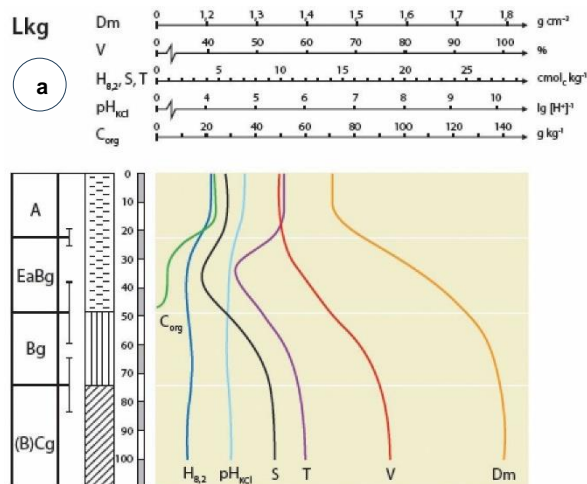
Leetunud muldade lõimised ja veeolud

Muldkatte teket ja talitlemist mõjutavad suurel määral kliimaatilised tingimused, mida toestab mullastike suur erinevus bio-kliimaatiliste võõrmete lõikes. Eesti pedo-ökoloogilisi tingimusi mõjutav makrokliima on kogu riigi ulatuses suhteliselt ühtlane ehk piirkonniti vähekontrastne. Seega on peamiseks mullastiku erisusi määravateks teguriteks siin muldade lähtekivimid ja peamiselt reljeefist tingitud veeolud. Need kaks põhitegurit determineerivad ökosüsteemi koosseisu ja nende tagasimõjude kaudu muldade huumuskatte ülesehituse. Leetunud muldade jaotumist veeolude lõikes näitab joonis 4, millel on näidatud ka geneetiliselt lähedaste piirnevate muldade esinemise seaduspärasused.

Eesti leetunud mullad on tekkinud jääajal või pärast jääaega settinud liivarikastel (liivad, saviliivad) karbonaadi- ja savivaestel geoloogilistel setetel, mis esinevad

mõhnastike, sandurite, terrasside või lainjate tasandike kujul. Tüüpilisel kujul on leetunud mullad (Lk) moodustunud parasniisketes (värsketes) mullavee oludes. Leetunud sõredate liivade ja kruusarikaste alade mullkate on vähearenenud, põuakartlik (Lkp) ja madala viljakusega. Gleistunud leetunud (Lkg) mullade alumised kihid on valdavalt osal vegetatsiooniperioodist alaliselt liigniisked. Võrreldes parasniisketega saabub gleistunud leetunud põllumullade harimisküpsus ligikaudu nädal või poolteist hiljem. Looduslike kihilise kõduga kaetud leetunud mullade kultuuristamisel muudetakse nende huumuskate tüsedamaks, kus looduslik kihilisus asendub harimisega ühtlasemaks segatud huumuskattega.

Lõimiselt on leetunud mullad valdavalt liivad (joonis 5a). Osal leetunud mulladest esineb peamiselt liivast koosnevas profiilis lõimiselt savikamaid vahe- ja aluskihte. Levinud on ka haritavate maadena kasutusele võetud leetunud mullade erimid, mis on moodustunud karbonaatide vaestele liivsavimoreenidele ladestunud 40–70 cm tüsedusega liiva või saviliivastel setetel (joonis 5b). Kivirikkamad on rannikulähedased leetunud mullad, milles leiduvad silikaatidest rikkad peenikivid ja veerised muudavad mulla mineraalselt mitmekülgsemaks ja viljakamaks.

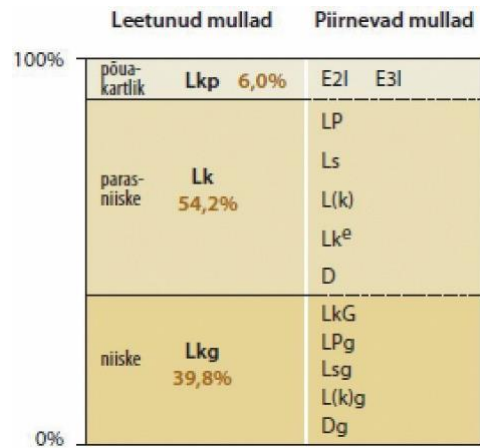


Joonis 5. Leetunud mullade mudelprofiilid (a – gleistunud leetunud punakaspruunil lasuv põllu saviliivmuld; b – nõrgalt leetunud metsa liivmuld). Dm – lasuvustihedus, V – küllastusaste, $H_{2,2}$ – hüdrolyütiline happesus, S – neeldunud alused, T – neelamismahutavus, C_{org} – orgaaniline süsinik, Ep – eripind

Figure 5. Model profiles of Podzolic soils (a – gleized podzolized loamy sand on red-brown loamy moraine in arable land; b – weakly podzolized sandy soil in forest). Dm – bulk density, V – saturation stage, $H_{2,2}$ – hydrolytical acidity, S – Basic cations, T – cations exchange capacity, C_{org} – organic carbon, Ep – specific surface area

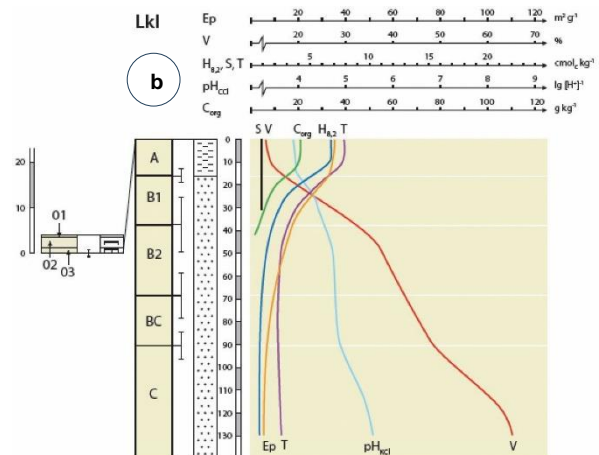
Leetunud mullade huumuskate

Kuna mullade talitlemisega seotud bioloogiline tegevus, süsinikuringe ja produktiooniprotsessid toimuvad peamiselt huumuskatte (pealismulla) osalusel on mullaklassifikatsioonide kõrval töötatud välja ka huumuskatete (ehk humipledonite) klassifikatsioonid. Huumuskatete (tuntud ka kui huumusvormid) klassifikatsioonid on koostatud eraldi looduslike ja haritavate mullade kohta. Et huumuskatte tüübi eristamisel võetaks arvesse geneetiliste horisontide morfoloogia (huumuskatte profiil), veelud, mullaelustiku tegevus, mineraalsete horisontide keemiline koostis ja huumuskatte all olevate horisontide



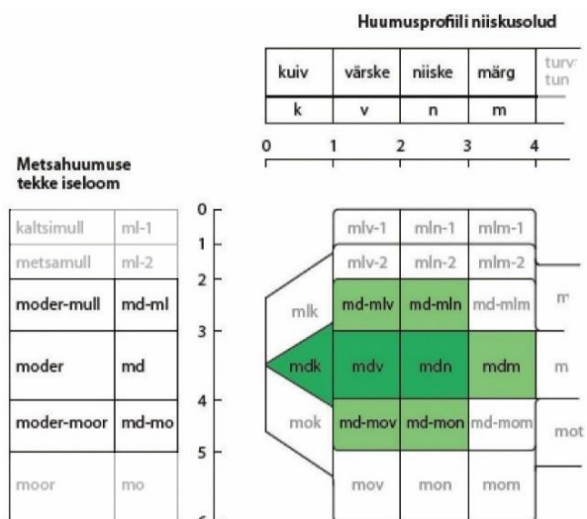
Joonis 4. Leetunud mullade jaotus (%-des) mulla niiskuselude järgi ja nendega kaasnevad mullad.

Figure 4. Division of Podzolic soils (in %) by their moisture conditions and accompanying with them soils. Niiskuselud – Moisture conditions: põuakartlik – drought timid; parasniiske – normally moistened or fresh, and niiske – moist or temporarily over-moistened. Piirnevad mullad – Accompanying soils: Lkp, Lk and Lkg – see Table 1; LP, LPg, Ls, Lsg, L(k), L(k)g, LkG – see Figure 3; E1 – Eroded podzolic soils (2 moderately and 3 severely eroded); Lk^e – Slightly eroded podzolic soils; D – Automorphic deluvial soils, and Dg – Gleyed deluvial soils



iseloom, on huumuskatte tüüp heaks ökosüsteemi talitlemise indikaatoriks, sest selles peegeldub peale pedoökooloogiliste tingimuste ka mulla ja taimkatte vastastikune toime (joonis 6).

Põuakartlike ja kõrgematel kohtadel asuvate saviosa-keste ja karbonaatide poolest vaeste metsamullade huumuskate on *kuiv moder*. Maapinda katvale varise kihile (O1) järgneb siin 2–3 cm ulatuses poollagunenud, mineraalsete horisontidega vähesel määral segunenud detriitne (purujas) ja nõrgalt toorhuumuslik metsakõdu (O2d). Selle all on õhuke (ca 14–18 cm) huumushorisont, mis läheb järkjärgult üle nõrgalt väljakujunenud leet- või sisseuhtehorisondiks.



Joonis 6. Leetunud muldade paiknemine huumuskatete maatriksil

Figure 6. Location of Podzolic soils on the matrix of humus covers. Characterization of forming: *md* – moder, *md-ml* – moder-mull, and *md-mo* – moder-mor; Humidity conditions: *k* – dry, *v* – fresh, *n* – moist, and *m* – wet. For using of humus covers' matrix see Astover, 2012 pages 462-463.

Keskmiselt ja tugevalt leetunud metsamuldade huumuskatteks on mitmekihiline *värске moder*. Varisele järgnev detriitne (O2d) või seenniidistikust läbi-põimitud fermentatiivne (O2f) horisont on neil *kuivast moderist* tüsedam (ca 3–5 cm). Samuti esineb siin mineraalset mullakihti kattev 1–2 cm tüsedusega vähesel määral mineraalseid mullaosakesi sisaldav amorfse huumuse kiht (O3). Fulvaatne huumushorisont on neil muldadel õhuke ning sisaldab rohkesti vähelagunenud metsakõdu (joonis 7).



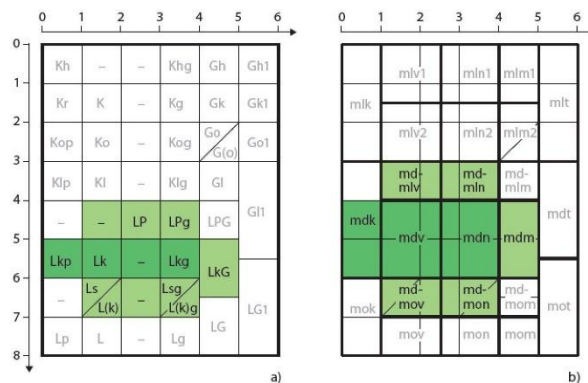
Joonis 7. Värске moder tüüpi huumuskate. Foto: Endla Reintam

Figure 7. Humus cover (humipedon) of fresh moder type

Gleistunud leetunud metsamuldade huumuskate on *niiske moder*. Maapinda või samblakatet katva varisekihi all on 2–3 kihiline poollagunenud ja vähesel määral mineraalsete horisontidega segunenud nõrgalt toorhuumuslik (fermentatiivne) metsakõdu (O2f). Selle all aga enamustel juhtudel õhuke hästi humifitseerunud amorfse huumuse (O3) kiht. Gleistunud keskmiselt ja

tugevalt leetunud metsamuldade *niiske moder* on kolme- või neljakihiline ja tüsedam O2f arvel.

Moder-tüüpi huumuskatete esinemine viitab happelises keskkonnas toimunud kamardumise ja leetumise koosmõjule. Puhma- ja samblarinde ülekaalu mõjul tekkinud *moder*-tüüpi huumuskatete huumushorisondid on tugevasti happelised ja taimetoiteelementide vaesed. Kui looduslike alade huumuskatte ülesehitus ja omadused peegeldavad hästi muldkatte omadusi (joonis 8), siis haritavate muldade muldkatted on suuremal või vähemal määral mõjutatud (muudetud) inimese maaviljelusliku tegevuse kaudu.



Joonis 8. Leetunud mullaliikide (a) seos huumuskatte tüüpidega (b)

Figure 8. Matching podzolized soils' species (a) with humus covers' types (b). For soils' names by their codes (Fig. 8a) see Fig. 3 and for humus covers' names (Fig. 8b) see Fig. 6

Haritavate leetunud muldade huumuskatted on valdavalt keskmisehuumuslikud ehk mõõduka huumuse-sisaldusega (tabel 2). Huumuskatte tüsedus sõltub

Tabel 2. Leetunud muldade huumuskatete nimetused ja tüsedused

Table 2. Names and thicknesses of Podzolic soils' humus covers

Mulla- / Soil liik	erim ¹⁾	Maakasutus / Land use	Huumuskatte nimetus / Name of humus cover	Tüsedus / Thickness, cm
Lkp	1, kr		Kuiv moder (mdk) <i>Dry moder</i>	10–17
Lk	1, sl, sl/ls	Metsad / Forests	Värске moder (mdv) <i>Fresh moder</i>	22–26
Lkg	1, sl		Niiske moder (mdn) <i>Moist moder</i>	15–20
Lkp	1, kr		Kuiv vähehuumuslik happeline (Avh) <i>Dry low-humuous acid</i>	22–27
Lk	1, sl, sl/ls	Haritav maa / Arable land	Keskmisehuumuslik humaat-fulvaatne (Ahf) <i>Moder-humuous humate-fulvic</i>	25–30
Lkg	1, sl		Niiske keskmisehuumuslik fulvaatne (Ahf) <i>Moist moder-humuous fulvatic</i>	25–30

¹⁾ Erimid / Soil varieties: 1 – liiv / sand, kr – kruus / gravel, sl – saviliiv / loamy sand, sl/ls – saviliiv liivsaviil / loamy sand on loam

künni sügavusest. Paljudel juhtudel võib kamardumise tagajärjel tekkinud huumushorisoni all esineda ülemineku horisont (AEa). Kallakulistel erosiooniohtlikel aladel on osa leetunud muldade huumuskatetest muutunud õhemaks ärahte või tusedamaks pealeuhte tulemusel. Parasniiskete haritavate leetunud muldade huumuskatted on humaat-fulvaatsed või humaatsed, mis on tingitud madalamast happesusest ja kõrgemast kaltsiumi ja magneesiumi sisaldusest ning on seega parema kvaliteediga. Gleistunud muldade huumuskate on valdavalt fulvaatne, kuid põuakartlike muldade oma kuiv ja vähehuumuslik.

Leetunud põllumuldade keemilised omadused võrdluses metsamuldadega

Leetunud haritavate muldade süsiniku (samas ka huumuse ehk orgaanilise aine) sisaldused on praktikas kasutatava hinnangu järgi madalad. Tabeli 3 andmed näitavad, et süsinikusisaldus suureneb liivadelt saviliivadele ca 6–7% ja parasniisketelt niisketele ca 8–10%. Üldise keskmisena on orgaanilise süsiniku sisalduse vahemik Eesti parasniiskete haritavate maade huumuskattes piirides 9–18 g OS kg⁻¹, mis vastab huumuse sisaldusele 1,5–3,1%. Seda sisalduste vahemikku ehk nn optimaalset taset, mis on muidugi erinev mullaerimite lõikes, on igati piisav muldkattele omaste talitluste täitmiseks. Kardinaalselt erinevaid võtteid on vaja kasutada orgaanilise süsiniku (või huumuse) vaeguse ja külluse korral.

Tabel 3. Leetunud põllumuldade orgaanilise süsinikusisalduse tasemed (g OC kg⁻¹)

Tabel 3. Levels of organic carbon contents in arable Podzolic soils (g OC kg⁻¹)

Mulla lõimis <i>Soil texture</i>	Mulla kood <i>Soil code</i>	Optimaalne sisaldus ¹⁾ <i>Optimal content</i>	Vaegus <i>Scarcity</i>	Küllus <i>Excess</i>
Liivad	Lk	12,2 ± 2,9	< 9	> 15
Sands	Lkg	13,3 ± 3,4	< 10	> 17
Saviliivad	Lk	13,0 ± 3,2	< 10	> 16
Loamy sands	Lkg	14,2 ± 3,6	< 10	> 18

¹⁾ Huumuse % / Humus content in % = g OC kg⁻¹ × k 0,172

Kuigi teatud osa muldade vahelisi erinevusi on tingitud mulla lõimisest ja veeludest, on nendest hoopiski suuremad erinevused seotud maakasutusega. Haritavate ja metsamuldade huumuskatete olemust väljendavate näitajate vahemikud tabelites 4, 5 ja 6 on esitatud parasniiskeid ja niiskeid leetunud muldasid (Lk+Lkg) koos võttes. Põllu- ja metsamuldade huumuskatete erinevuse võrdlemisel tuleks metsade puhul summeerida A horisoni andmed tabelist 4 ja kõduhorisoni omad tabelist 5. Ennekõike on oluline arvestada huumuskatte ülesehituse erinevusi. Nii muldkatte (tabel 6) kui selle alusmulla (tabel 5) andmed tõestavad selgete erinevuste olemasolu leetunud muldade kasutamisel metsa- ja põllumaana. Metsamuldadele on iseloomulik suurem happesus (pH_{KCl} ning asendus- ja hüdrofüütiline happesus) ja süsiniku sisaldus huumushorisonis. Võrreldes põllumuldadega on metsamuldades oluliselt väiksemad neelamismahutavused, neeldunud aluste hulk, küllastusaste ja lämmastiku koguarvud.

Tähelepanuvääriv on süsiniku (või mulla orgaanilise aine) varude suhteliselt sarnane tase. Suhe C/N on enamasti suurem metsamuldades võrreldes haritavate muldadega. Leetunud muldade huumuskatte kvaliteeti saab parandada lupjamisega, mis loob soodsad tingimused huumuse akumulatsiooniks ja selle humaatuse suurenemiseks.

Tabel 4. Metsa- ja põllumaa leetunud (Lk ja Lkg) liiv- ja saviliiv- (I ja sl) muldade huumushorisonide iseloomustus¹⁾
Table 4. Characterization of humus horizons of forest and arable podzolic (Lk and Lkg) sandy and loamy sandy soils

Näitaja / Characteristic	Ühik Unit	Huumushorison (A) Humus horizon	
		metsas in forest	põllul in field
Tüsedus / Thickness	cm	13–22	25–29
pH _{KCl}		3,7–4,1	5,4–5,6
Orgaaniline süsinik (OC)	g kg ⁻¹	16–25	11–15
Organic carbon	Mg ha ⁻¹	30–45	46–58
Üldlämmastik (N)	g kg ⁻¹	1,4–1,6	1,3–1,4
Total nitrogen	Mg ha ⁻¹	2,4–4,4	3,8–5,5
C/N	suhe / ratio	15–20	10–11
Asendushappesus (H _{5,6})	cmol kg ⁻¹	0,8–2,0	0,4–0,6
Exchangeable acidity	kmol ha ⁻¹	25–30	10–18
Neelamismahutavus (T)	cmol kg ⁻¹	11–13	14–15
Cations exchange capacity	kmol ha ⁻¹	240–330	510–650
Küllastusaste (V)	%	35–45	75–85
Saturation stage			

¹⁾ Üldistused on tehtud andmebaas PEDON põhjal / Generalizations are done after database PEDON

Tabel 5. Leetunud muldade metsakõdu ja alusmulda (horisonid Ea+B) iseloomustavad näitajad

Table 5. Characterizing Podzolic soils' forest floor and subsoil (horizons Ea+B) indices

Näitaja / Index	Ühik Unit	Metsa- ja alusmulda Forest and Subsoil		
		Metsakõdu Forest floor	Mets Forest	Põld Field
pH _{KCl}		3,5–3,9	4,1–4,6	4,8–5,4
Tüsedus / Thickness	cm	2,7–3,8	54–60	44–52
Orgaaniline süsinik	g kg ⁻¹	300–320	–	–
Organic carbon	Mg ha ⁻¹	10–12	24–30	21–29
Lämmastik	g kg ⁻¹	9,9–10,3	–	–
Nitrogen	Mg ha ⁻¹	0,30–0,36	1,3–1,7	2,3–3,1
C/N	suhe / ratio	30–33	15–20	9–11
Orgaaniline aine Organic matter	Mg ha ⁻¹	20–22	41–51	38–48
Asendushappesus Exchangeable acidity	kmol ha ⁻¹	1,0–1,3	31–39	16–24
Neelamismahutavus Cation exchange capacity	kmol ha ⁻¹	26–28	710–790	1400–1600
Küllastusaste Saturation stage	%	33–39	56–68	78–90

Leetunud metsa- ja põllumuldade pedo-ökoloogilistest erinevustest

Mulla elustiku tegevus looduslikes leetunud muldades on pidurdunud või väheaktiivne, mis nähtub kõdukihi mitmekihilisusest ja selle selgepiirilise eraldatusest mineraalsest mullast. Tagasihoidliku rohurinde tõttu on nende muldade juuri sisaldav huumushorison õhuke ja bioloogiliselt väheaktiivne. Looduslikes leetunud muldade elustikus on ülekaalus lüljalgsed. Vihmausside tegevuse jälgi võib leida vaid vähem happelistes

huumuserikastes muldades, mille maapealne varis on rikkam lehtpuude ja rohurinde varise poolest. Maapealne varis laguneb valdavalt seente mõjul, mida näitab viltja fermentatiivse, seeneniidistikuga läbi-põimunud kõduhorisont (O2f). *Moder*-tüüpi huumuskatte metsakõdu akumulatsioonikoefitsient, mis näitab metsakõdu süsinikuvaru suhet aastavarises oleva süsiniku hulka, on parasniisketes 2–3 ja gleistunud muldades 3–4. Mullaelustiku mulda segava toime puudumise tõttu on orgaanilise aine lagunemine ja humifitseerumine pidurdunud ning tekkinud happelised laguproduktid jäävad neutraliseerimata. Ajutise liigniiskuse korral ei ladestu poollagunenud orgaaniline aine mitte ainult kõdukihti, vaid ka mineraalsesse huumushorisonti.

Table 6. Leetunud muldade muldkatteid iseloomustavad näitajad

Table 6. *Characterizing of Podzolic soils' soil cover indices*

Näitaja / <i>Index</i>	Ühik <i>Unit</i>	Muldkate / <i>Soil cover</i>	
		Mets / <i>Forest</i>	Põld / <i>Field</i>
Tüsedus / <i>Thickness</i>	cm	70–86	72–75
Füüsikaline savi <i>Physical clay</i>		2300–2400	1680–1975
Orgaaniline aine <i>Organic matter</i>	Mg ha ⁻¹	110–155	125–140
Orgaaniline süsinik <i>Organic carbon</i>		62–88	74–81
Lämmastik / <i>Nitrogen</i>		4,5–5,8	6,8–7,0
C/N	suhe / <i>ratio</i>	14–15	10–12
Asendushappesus <i>Exchangeable acidity</i>		52–75	24–43
Hüdrofüüsiline happesus <i>Hydrolytical acidity</i>	kmol ha ⁻¹	340–450	316–357

Haritavatesse leetunud muldadesse juurde tulev orgaanilise süsiniku kogus pinnaiühiku kohta aastas sõltub külvikorras olevast eelkultuurist. Lisanduda võivad nii kohal kasvatatud haljasväetised kui ka mujalt toodud orgaanilised väetised. Hea harimistava järgi tuleks igal aastal taastada kulutatud mulla orgaanilise aine uute varudega. Kultuuri kasvuks sobiva mullareaktsiooni saavutamise eeldab mulla perioodilist lupjamist. Seega on kultuuristatud leetunud muldades säilinud „looduslikkusest“ vaid mulla lõimise, kuid agro-keemilised omadused ja huumusseisund võivad olla põhjalikult muutunud (tabelid 4–6).

Tänu kergele lõimisele soojenevad leetunud põllumullad teistest kiiremini ja saavad varem harimisküpseks. Et kerge lõimisega muldade taimedele omastatav veevaru on väike, võivad niihästi leetunud põllukui metsamullad kannatada veepuuduse all ka normaalse sademete hulga suvedel. Muldkatte hea vee-läbilaskvuse tõttu uhitakse nad sügisei ja kevadeti läbi ning mulla ülemine osa vaesub pidevalt liikuvatest ühenditest. Osa veega kaasatud ühendeid akumuleerub sisseuhtehorisonti (B, Bh, Bs), osa aga võib ebasobiva mullakäitlemise korral sattuda põhjavette või külvooludega veekogudesse. Muldkatte läbipesemine suurendab leetunud mulla kaltsiumivaegust, halvendab huumuse kvaliteeti ja põhjustab mulla hapestumist. Vähesese huumuse- ja füüsikalise savi sisalduse tõttu on

leetunud muldade neelav kompleks väikese mahutavusega. Põllumaana kasutamisel vajavad need mullad pidevat väetamist ja perioodilist (4–6 aasta tagant) lupjamist, mis vähendab aktiivset happesust, liigset liikuvat alumiiniumi sisaldust ja parandab kaltsiumi- ja huumusseisundit. Ajutisest liigniiskusest tingituna soojenevad gleistunud leetunud mullad kevadeti aeglasemalt võrreldes parasniisketega, saades harimisküpseks keskmiselt nädala võrra nendest hiljem. Gleistunud leetunud muldade kasutamisel põlluna vajavad nad üldjuhul korralikku kuivendamist, mis parandab nende õhu- ja soojusrežiimi.

Leetunud metsa- ja põllumuldade keemilised omadused erinevad oluliselt suure hulga näitajate poolest. Leetunud metsamuldade 2–3 cm tüsedusega metsakõdukiht on tugevasti happeline ja sisaldab seetõttu taimedele toksilist liikuvat alumiiniumi (tabel 5). Ka metsakõdu küllastusaste on madal (< 40%). Nende huumushorisondis happesus ja liikuvat alumiiniumi sisaldus väheneb, kuid vaatamata sellele ei ulatu mulla neelava kompleksi küllastusaste kuigi palju üle 40%.

Leetunud põllumuldade huumushorisondi keemilised omadused erinevad tunduvalt looduslikest (tabel 4). Vähenenud on happesus ja liikuvat alumiiniumi sisaldus tasemeni, mis ei ole enam taimekasvu pärssiv. Soodsamaid taimekasvu tingimusi näitab ka > 75% suurenenud küllastusaste. Kõigi leetunud muldade happesused vähenevad, kuid neeldunud aluste suuremast sisaldusest tingitud küllastusastmed suurenevad sügavamates alusmulla kihtides. Ka põllu- ja metsamuldade alusmuldade omaduste võrdlus (tabel 5) viitab nende keemiliste omaduste olulistele erinevustele. Kogu muldkatte tasemelt võttes on erinevused suured neelamismahutavustes ja neelava kompleksi küllastusastmes (tabel 6). Metsamuldade suuremat happesust näitavad asendushappesuse näitajad. Et põllumuldade lämmastiku varud on metsamuldadest suuremad, on C/N suhe põllumuldades (10–12) väiksem metsamuldade (14–15) C/N suhtest.

Leetunud metsa- ja rohumaamuldade looduslik taimkate

Leetunud mullad on suktsessiooni käigus kattunud peamiselt laane- ja palumetsadega, valdavalt jänesekapsa-, jänesekapsa-pohla-, mustika- ja mustikajänesekapsa-männikutega. Vähehulgal esineb kuusikuid ja kaasikuid. Suurema savisisalduse korral (saviliiv liivsavi või savikate vahekihtide esinemine) on neile kasvanud jänesekapsa männi-kuuse-kase segametsad. Alusmets on leetunud muldadega metsaökosüsteemides hõre (pihlakas, vaarikas) ning puhmarindes domineerivad peamiselt mustikas ja pohl. Rohurinne on neil tavaliselt hõre ja liigivaene (palu-härghein, kilpjalg, maikelluke, metskastik jt). Selgelt väljaarenenud samblarindes domineerivad palusammal, laanik, kaksikhammas ja lehviksammal.

Leetunud metsamuldade aasta fütoproduktiivsus on 9–11 Mg ha⁻¹ ehk ca 4,5–5,5 orgaanilist süsinikku hektari kohta. Need mullad sobivad suurepärast metsakasvatuseks. Neil muldadel (Lk, Lkg) kasvavate männi

enamusega metsade boniteet on suhteliselt kõrge (I–III), kusjuures parimad metsad kasvavad saviliivadel ja liivsavi vahekihtidega mullaerimitel. Tänu metsa kasvaks enam sobivatele veeoludele on gleistunud nõrgalt leetunud mullad produktiivsemad parasniisketest. Looduslike leetunud metsamuldade bioloogilist aktiivsust tõstab mineraalainerikka ja kiiresti laguneva varise mahu suurendamine lehtpuuliike sisaldavate puistute kultiveerimisega, mis soodustab ka liigirikka alusmetsa ja alustaimestiku arengut ja sellest pärineva varise osakaalu kogu aasta varises.

Looduslike rohumaid on leetunud muldadel säilinud vaid vähesel määral. Suurema mineraalse ja keemilise potentsiaali korral on neile kujunenud parasniisked või kuivad palurohumaad hariliku kasteheina–punase aruheina, maarjakeheina või luht-kastevarre kooslused. Kvartsirikastele liivadele on sobitunud lamba-aruheina–jussheina, lamba-aruheina–nõmmtarna, lamba-aruheina–kassikäpa või kanarbiku–võnk-kastevarre kooslustega kuivad nõmmerohumaad. Piiratud ulatuses esineb veel ka niiskeid palurohumaad hirsstarna–hariliku tarna ja tedremarana–luht-kastevarre kooslustega.

Liivase lõimisega leetunud muldadel asuvate looduslike rohumade madala söödaväärtusega kuiva heina saagikus on piirides 0,5–0,8 tonni kuiva heina hektari kohta. Liivsavi lõimise korral paraneb nii söödaväärtus, kui ka saagikus (1,5–1,8 tonni hektari kohta). Gleistunud leetunud rohumaimuldade taimestik on üldiselt madalama söödaväärtuse ja saagikusega (kuiva heina saak alla 1 tonni hektari kohta).

Autori arvates ei saa leetunud muldade suhtes pädevaks pidada laialt levinud väidet, et süsinikuseisundi parendamise otstarbel tuleks teatud osa haritavast maast viia püsirohumaade alla. Taoline maakasutuse muutus leetunud muldade puhul toob loomulikult kaasa CO₂ emissiooni vähenemise, kuid samal ajal väheneb samal määral ka CO₂ sidumine atmosfäärist. Väetamata leetunud muldadega rohumade produktiivsus väheneb kordades võrreldes põllukultuuride kasvatamisega. Lupjamise puudumisel aineriinge stagneerub ehk produktiivsus väheneb veelgi. Kuigi pealismulla A-horisonis suureneb OS kontsentratsioon ja lisaks sellele leidub teatud hulk OS ka moodustunud rohumaa kodus, ei muutu OS varud pinnauhiku kohta. Seega ei akumuleeru muldkattesse ka rohkem lagunemisele vastupidavat inertset süsinikku.

Leetunud muldade kasutamisest haritava maana

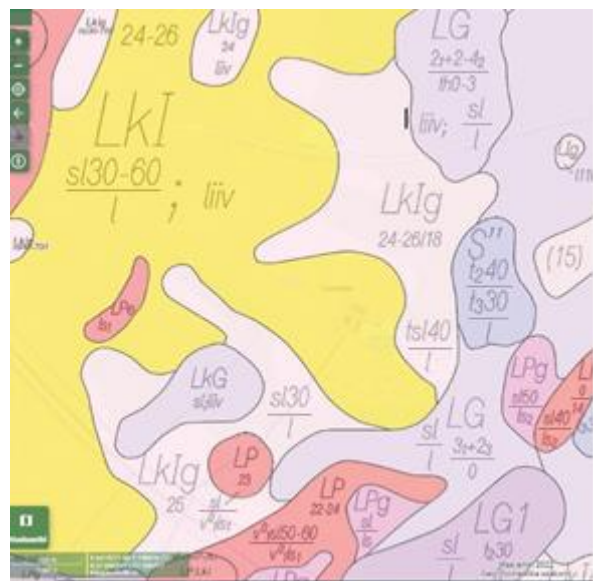
Leetunud mullad on haritavaks maaks piiratud kasutus-sobivusega. Kuid viljakama mulla puudumisel on neid olnud ikkagi vaja kasutada piirkonnale vajalike toidu- ja söödakultuuride tootmisel ehk põllumaana. Leetunud põllumuldade põhilisteks puudusteks on (1) vähene huumuse ehk orgaanilise aine sisaldus, mis on samas madala kvaliteediga; (2) liigne happesus, mis säilib alusmullas ka lupjamise korral, põhjustades huumuse küllastumatust ning liikuvast alumiiniumist ja mangaanist tingitud toksilisust; (3) taimedele omastatava veevaru vähesus mullas; (4) mulla vähesest bioloogilisest

aktiivsusest tingitud mulla orgaanilise aine bakteriaalse lagunemise piiratus ja (5) gleistunud muldade ajutine liigniiskus, mis takistab kevadeti ja sügiseti põllutöid.

Leetunud põllumuldade huumushorisoni struktuursus on halvasti välja kujunenud sisaldades vaid vähesel hulgal harimisele vastupidavaid struktuuri-agregaate. Halb struktuursus on tingitud liivadele oma-sest vähesest sidususest, vähesest savi ja orgaanilise aine sisaldusest ning tugevast happesusest. Nõrga struktuursuse tõttu muutub nende muldade lasuvustihedus ja üldine poorsus vegetatsiooniperioodi jooksul vähe. Füüsikalistest omadustest tulenevalt on leetunud mullad harimisõrnad kuigi samas kergest haritavad.

Leetunud põllumuldade keskmine boniteet on 35–45 hindepunkti, mille järgi on nad keskmise kuni halva kvaliteediga (VI–VII klass) maad. Gleistunud leetunud kuivendamata põllumuldade boniteet on keskmiselt 5–10 hindepunkti võrra madalam. Kuivendamise tagajärjel võib nende boniteet tõusta VII-sse klassi ning paraneb nende sobivus nii teraviljade kui ka kartuli ja põldheinte kasvatamiseks. Põllukultuuridest on nendele muldadele enamsobivad rukis, kartul, tatar, lina ja segatised. Heintaimedest saab nendele muldadele hästisobiva lupiini kõrval kasvatada ohtetut lustet, keraheina ja erinevaid põldheina segusid. Leetunud põllu-liivmuldade väikesemahulise neelava kompleksi tõttu on nende väetisearve suur ja neid on vaja regulaarselt lubjata.

Kuigi nendest muldadest kaugeltki kõik ei ole põllupidamiseks sobivad, on paremate muldade puudumisel tulnud neid ikkagi kasutada, sest vastasel korral hääbuks vastavas piirkonnas põllumajanduslik tegevus. Muldkeskne maakasutus eeldab kõigi piirkonnas esinevate mullaliikide omaduste ja nende levikumustri tundmist. Heaks abimeheks mullastiku keskkonnasõbraliku kasutamisel on kogu Eesti maismaad hõlmav interneti kaudu hõlpsasti kättesaadav digitaalne 1:10000 mulla-kaart (Maa-uuringud, 2009; väljavõte joonisel 9).



Joonis 9. Leetunud muldadega mullakaart
Figure 9. Soil map with Podzolic soils

Mullanimetuste konverteerimisest rahvusvahelise suhtlemise otstarbel

Igal oma loodusvarasid austaval riigil on reeglina olemas looduslike tingimustega kooskõlaline muldade klassifikatsioon koos muldade nimestikuga. Kuna riikide originaalsed muldade klassifikatsioonid kajastavad lokaalseid mullatekke ökoloogilisi (ehk pedo-ökoloogilisi) tingimusi ning nende väljatöötamisel on kasutatud üksteisest erinevaid metodoloogilist lähenemist, eksisteerib suur mullaklassifikatsioonide mitmekesisus. Erinevused on tingitud mitte ainult pedo-ökoloogilistest tingimustest ning muldade ülesehitusest ja omadustest, vaid ka kasutuses olevate taksonoomiliste ühikute hierarhiast ja nimetustest.

Eesti muldade klassifikatsioon, kui muldade uurimise ja kasutamise töövahend, pärineb või on olnud üks osa Vene-Nõukogude klassifikatsioonist. Tuleb tõdeda, et pärast mõningate lokaalsetest oludest tingitud klassifikatsiooni korrigeerimist, on ta olnud heaks töövahendiks nii Eesti mullastiku uurimisel, kui ka muldade tundmaõppimisel ja kasutamise korraldamisel. Üldjuhul on tavaks, et muldade klassifikatsioone täiendatakse ja korrigeeritakse pidevalt seoses uute teadmiste laekumise ja maailmas arendatud ideedega. Kui kasutusel olev ametlik versioon on ressursi kasutusel teeninud teatud ajalõigu, kuid samas on laekunud ka hulk ettepanekuid tema kaasajastamiseks, võetakse kasutusele (tehakse ametlikuks) selle klassifikatsiooni uus täiendatud versioon.

Teatavasti on juba rea aastate jooksul töötatud nn maailma universaalse mullaklassifikatsiooni arendamisel, kuid see ei ole praegu veel valmis kasutusele võtmiseks. Seniks on rahvusvahelistes suhtlemistes ja andmekasutuses alternatiivseks võtteks olnud mullanimetuste konverteerimine pedo-ökoloogilise ekvivalentsuse alusel. Tähtis ei ole mullanimetuse tõlge, vaid ennekõike oleks vaja kajastada ülesehituse ja omaduste ühetaolisus või erisus.

Eesti muldade klassifikatsioon eristab leetunud muldad leetumise määra järgi. Leetumise astmed on määratud leethorisoni (Ea) tüseduse ja happesuse alusel. Kõigis leetunud muldades on olemas huumus-(A)horisont, mille puudumisel on tegemist hoopiski leedemullaga. Kuna huumushorisoni olemasolu viitab kamardumisprotsessile, kutsuti varemalt leetunud muldasid kamar-leetmuldadeks. Suurema saviosakeste sisalduse korral on leet- ja sisseuhtehorisonidid õhemad. Leetunud muldade leetumise astet näitab ka huumus- ja leethorisoni suhe, milles leethorisoni ülekaal viitab tugevamale leetumisele. Eesti tingimustes on osutunud vajalikuks eristada leetunud mullad ka veeolude suhtes, eristades: põuakartlikud, parasniisked (värsked) ja niisked (alagleistunud) mullad. Mullaliigi nimetusest detailsema määrangu annab mulla erimi nimetus, kus liiginimetusele on lisatud ka mulla lõimise nimetus. Näiteks: põuakartlik leetunud liivmuld; keskmiselt leetunud saviliiv liivsavi; gleistunud tugevalt leetunud saviliiv jne.

Ülemaailmse mullaressursside määratlemise baasi (WRB) 4. väljaande (2022. a) järgi on leetunud muldade referentsmuld *PODZOL*, mille peamine tunnus on *spodic* sisseuhte-(Bh)horisont. WRB ei eristata leethorisonite (*albeluvic*) nende väljakujunemise määra järgi. Küll aga on võimalik pea- ehk eesliitega eristada vähearenenud (*entic*) ja hästiarenenud (*albic*) leetmullad. Madala küllastusastmega mõõduka huumuse-sisaldusega huumushorisoni määratleb pealiide *umbric*; liigniiskuse tunnuste (hapendus-taandus tingimuste) esinemist alusmullas väljendavad pealiited *undergleyic* ja *stagnic*; huumuse sisseuhtet (Bh) väljendab liide *carbic*, kuid rauaoksiidi sisseuhtet (Bs) pealiide *rustic*. Mulla lõimist, maakasutust ja täiendavaid omadusi kajastatakse täiend- ehk järelliidete abil. Leetunud muldade kerge lõimise tunnus on *arenic*. Kuid esineb ka kahe- või enamakihilist *abruptic* lõimist, kus *arenic* kihi all on liivsavi (*loamic*) või mõne muu lõimisega mineraalne sete. Haritava maana kasutamisele viitab liides *aric* ja kuivendusvõrgu olemasolule *drainic*. Sügavalt leetunud gleistunud metsamuldi kajastab täiendliide *hyperspodic*.

Tänuavaldused / Acknowledgements

Täname Endla Asi ja Endla Reintam'i mulla fotode, Peeter Veromanni jooniste viimistlemise ja mulla-teaduse õppetooli rahalise toetuse eest / *We are grateful to Endla Asi and Endla Reintam for the soils' photos, to Peeter Veromann for design of figures and Chair of soil science for financial support.*

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panused / Authors contributions

RK, TT – artikli kontseptsioon ja planeerimine / *study conception and design*;

RK – andmete kogumine / *acquisition of data*;

RK – andmete analüüs / *analysis of data*;

TT – illustreeriva materjali vormistamine / *design of figures*;

RK – käsikirja mustandi kirjutamine / *drafting of manuscript*;

RK, TT – lõpliku käsikirja toimetamine ja heaks kiitmine / *critical revision and approve the final manuscript*.

Kasutatud kirjandus

- Astover, A. (koostaja) 2012. Mullateadus. – Õpik kõrgkoolidele. EMÜ, Tartu, 486 lk.
- Eesti Põllumajandusprojekt [EPP] 1978 ja 1985. Haritavad mullad (1978). Metsamullad (1985). – Eesti NSV mullastik arvudes, II ja IV osa.
- Maa-amet 2001. Vabariigi digitaalse suure-mõõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri. – Tallinn, 46 lk.
- Maa-uuringud 2009. Eesti mullastiku kaart. – <http://geoportaal.maaamet.ee>
- IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. IUSS, Vienna, Austria.

Podzolic soil is the Year 2023 soil of Estonia

Raimo Kõlli, Tõnu Tõnutare

*Estonian University of Life Sciences, Institute of
Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Soil
Science, 5 Fr. R. Kreutzwaldi St., 51006 Tartu, Estonia*

Summary

The Year 2023 Soils of Estonia are Podzolic (or podzolized) Soils, which are known by WRB as *Umbric Podzols*. These soils form 5.0% from the total Estonian soil cover, but 4.3% from the forest and 5.2% from the arable land. The fabric and diagnostic characteristics of Podzolic soils is analysed from the principles of Estonian Soil Classification. The position of Podzolic soil among other soil species and

connection with neighbouring (by their genesis) soils is explained by mean of Estonian normally developed mineral soil matrix. Beside of profound description of Podzolic soils' humus status, texture and moistening conditions, as well different chemical properties of these soils are presented. By the comparative analysis of arable and forest soils' chemical properties and their pedo-ecological functioning the changes happened with land use changes are elucidated. If naturally developed forests and grasslands the plant cover composition is determined in general by soil properties, then in management of arable lands their suitability for agricultural crops should be taken into account. At the end of the article the possibilities for characterization Estonian Podzolic soil in international level are discussed.

TÕNU SAARMAN – 75

Oma elukaare neljanda veerandsajandi hakule on jõudnud kunagises Ürvaste valla Kuldre küla Koljoadu talus sündinud ja juurdunud maapoiss, mullauurija, agronoom, majandijuht, poliitik, Eesti riikliku iseseisvuse poolt hääletanute 20. Augusti Klubi liige, praegu pensionäripõlve nautiv seitsmekordne vanaisa – Tõnu Saarman. Tema sünnipäev on lehekuu 16. päeval, ilma valgust nägi ta 1948. aastal neljalapselise perekonna kolmanda vennana.

Kolmveerand sajandit Tõnu elus ei ole kulgenud ajale järele lohisevalt, vaid tehes valikuid vastavalt üleskerkinud võimalustele, pidades igal suuremal pöördel silmas osalemist Eesti maarahva elamis- ja tegevustingimuste edendamises. Sestap tahan mina, kui Tõnu EPA-s oldud aja kaasteeline ja vanem kolleeg, tutvustada tema eluloolisi seiku ja mõtteid kõigile neile, keda huvitab Eesti viimase sajandi teaduspõhise hariduse saamise ja praktilise põllumajanduse arengulugu. Tõnu põllumajandusega seotud tegevus on olnud mitmekülgne. Pärast põllumajandusliku kõrghariduse omandamist EPA-s on ta olnud seotud esimese aastatosina jooksul Eesti muldade uurimisega. Hiljem aga innovaatiliste tehnoloogiate rakendamisega praktikas ning osalemisega riigi põllumajanduspoliitika kujundamisel nii parlamendis kui ka vallasandil.

Tõnu jõudmine õpetatud agronoomi seisusesse on olnud üsna tüüpiline eelmise sajandi teise poole Eesti kõrgharidusega põllumajandusspetsialistide koolituses. Saades põhihariduse kohalikus koolis (Kuldre), omandades kesk-erihariduse agrokeemia kallakuga tehnikumis (Antsla) ja lõpetades õpingud EPA agronoomiateaduskonnas (1972). Oluline on lisada, et pärast Antsla Sovhoostehnikumi lõpetamist (1967) töötas Tõnu lühikest aega Kuldre kolhoosi osakonna juhatajana ja, et EPA-s õppides spetsialiseerus ta mullateaduse erialale.

Tõnu diplomitöö käsitles lüsimeteerite abil kogutud mullalahuste keemilist koostist ja ainete migratsiooni põllu- ja metsaökosüsteemide muldkatetes. See andmesitik tähtis oluline löigu üleliidulises põllu- ja metsaökosüsteemide talitlemise ja geneesi pikaajases komplekses uurimuses. Need uurimused toimusid statsionaarsetel uurimisaladel rohkearvulise kraaditaotlejatest koosneva meeskonna osavõtul professor Loit Reintami juhendamisel. Olgu öeldud, et Tõnu üliõpilaspõlve uurimus tunnistas esikoha vääriliseks nii vabariiklikul kui ka üleliidulisel üliõpilaste teadustööde konkursil. Teda on autasustatud 1972. a ka üleliidulise kõrg- ja keskerihariduse ministri medali „Parima üliõpilasteadusliku töö eest”. Loomulikult oli mullalahuste koostis ja migratsioon ka tema diplomitöö teemaks.

Tõnu spetsialiseerumisele mullateadusele sai Tõnu esimeseks, kolm aastat (1972–1975) kestvaks, töökohaks Eesti Põllumajandusprojekt. Kahe aasta jooksul kaardistas ja koostas ta seletuskirjad nelja mullastikult erineva majandi kohta. Teatavasti tajutakse muldade kaardistamise käigus süvitsi erinevate mullaliikide ja mullakoosluse ökoloogilist mõju loodusmaastike ilmele ja taimestikule ning põllumajandusliku tootmise potentsiaalile.



Tõnu alustas kaardistamist erodeeritud saviliivaste kün-gastike ja väikeste madalsoode poolest rikastest maastikest Ruusmäe kandis. Uuritud sai Valgamaa kerge löimise leetmuldasid, millistele kaasnes kolmandiku jagu glei- ja madalsoo muldasid. Omapärased olid Lasva kandi savimullad. Tööjärjega jõuti veel ka glei- ja gleistunud saviliiv- ja liivsavimuldadele Pärnumaal. Vahepalana muldade uurimisele tuli Tõnul läbida kohustuslik aastane armeeteenistus Ukrainas. Teenides aega lennua- väe tehnikuna, läbis ta teenistuse lõpul reservohvitseride kursuse omandades leitnandi auastme.

Üsna tavaks saanud karjääriskeemi järgi jätkusid Tõnu, kui mullauurija/-kaardistaja „tuleristsed” läbinud spetsialisti, õpingud EPA mullateaduse eriala aspirandina (1975–1978). Tema väitekirja teema oli oma sisult diplomitöö laiema haardega ja süvitsi minev jätk professor L. Reintami juhendamisel. Aspirantuuri järgselt töötas Tõnu (1978–1983) samas kateedris assistendina, kus õpetas mullateaduse põhialuseid ja Eesti mullastikku nii agronoomia, metsanduse kui ka maaparanduse eriala üliõpilastele ning korraldas neile õppe-ekskursioone ja välipraktikaid.

Alates teisest kursusest võttis Tõnu aktiivselt osa Üliõpilaste Teadusliku Ühingu (ÜTÜ) tegevusest. Ta on esinenud ettekannetega konverentsidel Moskvast, Leningradis, Minskis, Riias, Kiievis ning mitmes linnas nii Siberimaal kui ka Kesk-Aasias. Ta oli EPA agronoomiateaduskonna ÜTÜ aseesimees ja viimasel kursusel esimees. Aega on ta leidnud ka osalemiseks Tartu Riikliku Ülikooli (TRÜ) looduskaitseringi töös. Tegutsesemistahtest johtuvalt oli Tõnu aastatel 1976–1982 ELKNÜ Keskkomitee ja Tartu Linnakomitee juures asuvate Noorte Teadlaste ja Spetsialistide Nõukogu liige. 1976. a määrati ta EÜE Ungari rühma komisariiks. Ta on olnud EPA agronoomiateaduskonna ametiühingu esimees ning mitmel korral täitnud ENSV ja NSVL ÜN valimiste valimiskomisjoni esimehe kohustusi Tartus.

Töötamine assistendina EPA-s pani Tõnu tõsiselt mõtlema oma edaspidise karjääri üle. Ei ole sugugi üllatav, et umbes samal elukaare kohal (piltlikult pudelikaelas) on liigagi paljud EPA kraadiõppurid pidanud tõsiselt vaagima oma edaspidise elukorralduse üle. Ühelt poolt, tuli elatist teenida suhteliselt töömahuka assistendi ametikohal, peaaegu reeglina on olnud lõpetamata väitekirja viimistlus ja on olnud probleeme selle kaitsmise korraldamisega kusagil kaugel asuvas nõukogus. Mullateaduse puhul võis see toimuda näiteks Moskvast või Novosibirskis. Teiselt poolt, võisid õppejõudude kohad olla täidetud elujõulise kaadriga, kuhu uute tegelaste mahutamine oli küsitav ning ka grantide saamise võimalused töötamiseks teadurina olid tollal kellegi jaoks. Vaatamata nõukaajal levinud ütlemisele – *töö on auasi, palk iseasi* – vajas Tõnu, kui kolme alla kümneaastast last kasvavate pereisa, suuremat sissetulekut ja selgemat perspektiivi. Sattudes taolisse tupikolukorda kadus Tõnul huvi õppejõud/teaduri suunal edasiminekus, kuigi väitekirja vormistamine oli lõppjärgus ja tasemeeksamidki sooritatud. Ta võttis hoopiski vastu pakkumise asuda tööle direktori asetäitjana Adaveres Näidissovhoosis.

Töötades aastatel 1983–1990 Adaveres oli Tõnu (kui teadusdirektori) ülesandeks korraldada teadussaavutuste katsetamist ja juurutamist praktikasse. Katsetati uusi tehnoloogilisi võtteid teraviljakasvatuse ja rohu- ja maaviljeluse alal, korraldati põld- ja söötmisskatseid ning silo valmistamise õppepäevi. Avarduvad agronoomilise tööpõllu kõrval ei olnud vähetähtsad ka head korteriolud, dotsenditaseme kuupalk ja ametiauto kasutamise võimalus. Tänu Erkki-Gennadi Hannolaise abile algatati tihe kauakestev koostöö Soome firma Kemiraga. Adaveres juhtide tolaegne kõrge töökultuur innustas Soomepoolset abistavat suhtumist ja oli heaks aluseks hilisematele suhetele Saksa DV katseasutustega. Populaarsed ja rahvarohked olid Adaveres põllupeenrapäevad, kus tutvustati Kemira väetisi, taimekaitsevahendeid, konservante, maaharimise tehnoloogiaid ja põllutöö masinaid. Teisalt olid need päevad heaks kokkusaamise kohaks põllumajanduse asjatundjate kogu vabariigist. Adaveres paigaldati uudne Saksa DV komplektne labor söötade ja mulla makroelementide, proteiini, silode võihappe jt määramiseks nii oma majandi kui ka kogu rajooni majandite tarvis.

Edukas Adaveres, tundus Eesti põllumajandustöötajate hulgas ja Jõgevamaa põllumajandusjuhtide toetus olid peamised põhjused, miks Tõnu nõustus kandideerima ENSV Ülemnõukogu XI koosseisu. Nii saigi temast aastateks 1990–1992 ülemnõukogu liige, millest 1,5 kuud kulges ENSV ajal ja ca 30 kuud EV ajal. Tõnu tähtsaim töö parlamendis oli maa- ja omandireformi alane seadusloome ja vastavate seaduste vastuvõtmine maaelukomisjoni koosseisus. Tõnu oli komisjoni sekretär kuni seda juhtis Heldur Peterson. Parlamendi poolt määratuna 1991. a oli Tõnu Põhiseadusliku Assamblee EV ülemnõukogu valimiskomisjoni esimees. Ta kuulus ka Saksamaad ja Soomet külastanud parlamendidelegatsiooni koosseisu.

Komparteist lahkumisavalduse esitas Tõnu 1990. a hakul, kuna ta oli NLKP liige alates assistendina töötamise ajast. Rahvarinde baasil moodustatud Keskerakonna liige on ta alates 1991. aastast. Tõnu on üks 20. Augusti Klubi liikmetest, kes võtsid vastu otsuse „Eesti riiklikust iseseisvusest”. Põllumajanduse alal töötavaid isikuid oli 69 klubi liikme hulgas kokku ca paarkümmend sh ka Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi (APS) aupresident H. Peterson. Alates 2016. a on Tõnu 20. Augusti Klubi juhatuse liige.

Aastatel 1993–1994 oli Tõnu EPMÜ Ülenurme Õppe-katsemajandi (ÕKM) direktor. Ülenurmel avanes Tõnul võimalus osaleda äsja valminud maa- ja omandireformilase seadusloome rakendamist majandi likvideerimisel 1994. aastal. Eks varade jagamisel ja selle protsessi otstarbekusele hinnangu andmisel tekib isegi tahtmatult hulk eriarvamusi. Nii mõnelegi Tõnu arvamusel reageeriti demagoogiliselt, et *mida sa vana kommunist ja punaparun üldsegi tead talupidamisest või ehk tahad takistada talumajapidamisele üleminekut*. Hiljem selgus, et nii mõnelgi tagastatud põllul jäeti saak koristamata või hea toodanguga loomad said viidud koheselt tapale.

Pärast valla volikogu otsusega Ülenurme ÕKM likvideerimist, määrati Tõnu loodava Eerika Õppemajandi direktoriks, kus ta töötas kuni selle reorganiseerimiseni Eerika Õppetaluks 1995. aastal. Siitpeale otsustas Tõnu jätkata vabahärra staatuses omatahtsi valitud tegevusega. See oli suhteliselt mitmekesine eluperiood. Alul oli hulgaliselt tööpakkumisi, kuid oli soov pikema puhata ning pühendada end oma kodu rajamisele Soinastes, toetada isakodu korrastamist Kuldres ja alustada suvekodu rajamist Pärnu kanti mere äärde. Läbi tuli elada traagiline sündmus, kui haigestus EPMÜ-s metsatööstust õppiv poeg Urmas, kes lahkus noore mehe hena (1976–1999) siit ilmast, jättes maha abikaasa ja poja. Sellesse Tõnu eluperioodi mahtusid ka töötamised AS Eesti Lina, AS Saka Kaubandus ja mujal, kuid hiljem enda poolt moodustatud osatühingus.

Õnnestunud konkursi järgselt töötas Tõnu (2002–2010) nii Sangaste valla abivallavanemana kui ka valla volikogu aseesimehena, liikmena ning eelarvekomisjoni esimehena. Tema põhiliseks tööks oli ehitus- ja keskkonnaprobleemide lahendamine koos ehitus- ja kasutuslubade andmisega. Tuli kirjutada ehituste finantseerimiseks vajalikke projektitaotlusi (EAS, KIK, LEADER jt) ning esitada aruandeid. Taoline tegevus aitas näiteks rekonstrueerida Sangaste lasteaia ja rahvamaja ning Keeni koolimaja, projekteerida ja ehitada Keeni kooli staadioni ning Sangaste ja Keeni alevike ja Lossiküla reovee puhastid. Tõnu oli maakonna LEADER nõukogu liige ja aseesimees ning maakonna konkursi „Kaunis Kodu” žürii liige. Tõnule on annetatud EV Kaitseväge Eriteenest (2005) suurõppuse organiseerimise ja kaasaaitamise eest Sangaste valla territooriumil. Saades pensionäri staatusse 2009. a lõpul, jätkus Tõnul tegevust mitte ainult valla, vaid erinevate komisjonide koosseisus kogu Valgamaa ulatuses.

Tõnuga toimunud arutlustest selgusid mitmed tema, laiemat tutvustamist väärivad, arvamusel. Nii hindab

Tõnu kõrgelt valdava osa praeguse aja Eesti põllupidajate agronoomiaalast töökultuuri. Põllumullad on hoiatud heas seisundis, saagikused on mitmekordistunud võrreldes 30–40 aastate tagustega. Järjepidevalt on püütud täiustada erinevatele mullaliikidele sobivaid maaharimise ja kultuuride hooldamise tehnoloogiad, et toita õigesti ajastatult, tasakaalustatult ning keskkonda säästva optimaalse väetuskoomusega viljeldavaid põllukultuure. Reaalselt on võimalik korraldada muldade seisundi pidevat seiret, määrates jooksvalt mulla niiskust, toitainete sisaldusi, hapendus-taandustingimusi jms ja vajadusel neid korrigeerida. Kasutatakse viljavaheldust ja täppisviljelust ning kasvatatakse vahe- ja haljasväetiskultuure. Masinapark on kaasajastatud.

Tõnu arvates ei saa nõustuda, et rohepöörde prioriteediks on ennekõike süsihappegaasi emissioon ja selle vähendamise võimaluste otsimine. Agronoomia seisukohalt tuleks esikohale asetada ikkagi inimkonna toitmine ehk võimalikult suurema ja kvaliteetsema saagi saamine igalt muldkatte pinnahükult. Samas on teada, et kaasaja teaduslik tase võimaldab korraldada tootmist keskkonnasäästlikult, väärindades positiivses suunas muldkatte taimekasvatustlikku potentsiaali (viljakust). Samas kaasneb suurema saagikusega ka tunduvalt suurem atmosfäärses süsihappegaasi akumulatsioon agroökosüsteemidesse.

Oleme Tõnuga ühel meelel, et agronoomi silmale ei saa põllumajandusmaastikul olla midagi kaunimat kui seda on ühtlane, elujõulise (hästi toidetud ja terve) kultuurtaimikuga umbrohuvaba põld. Veelgi enam, hea agronoomilise kultuuriga põllud pakuvad silmailu isegi nii viljakoristuse järgselt, kui ka olles külvioteel pärast maaharimist.

Küsimusele, kuidas Kuldres asjad edenevad, vastas Tõnu, et seoses valdade liitmiselega on sarnaselt kogu Eestile endised majandi või osakonna keskused (sh Kuldre) ääremaastunud. Kool on suletud, kohalik teenindus halvenenud, noored liikunud suurematesse keskustesse või välismaale ehk siis Kuldre elujõulisus on suurel määral kahanenud. Võib vaid küsida, kas siis taolisi seisundeid tekitav regionaalpoliitika on ikkagi Eestile kohane.

Tõnu abielu Tiiu Kaasikuga, kellega ta abiellus pärast armeeteenistust, on kestnud nüüdseks juba 50 aastat. Otse erakordselt rohkesti, võrreldes teiste sõpradega, olen Tõnu suust kuulnud kiitust temale nii kalli abikaasa Tiiu kohta. Ta on öelnud, et kogu tema ametialane tegevus ning pere ja kodu rajamised said võimalikuks üksnes tänu Tiiu hoolitsevale osalemisele. Lisagem siia, et Tiule on tänulik ka kogu tollane EPA, sest oli ju Tiiu ligikaudu 25 aastat EPA (EPMÜ) pearaamatupidaja.

Tõnu on Tartu Põllumeeste Seltsi, Eesti Rukki Seltsi, Eesti Mullateaduse Seltsi ja Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi liige. Talle on antud APS-i tänukiri kauaegse aktiivse osavõtu eest seltsi tegevuses. Tõnu on publitseerinud ca 20 teadus- ja populaarteaduslikku artiklit. EPA-s olles teadusartiklid teadustööde ja konverentsiteeside kogumikes, Adaveres olles rajoonilehtedes nõuandvad kirjutised portsjonkarjatamisest, rohu- ja maakultuuride kasvatamisest proteiinirikka silo saamiseks, konservantide kasutamisest silo valmistamisel,

majandite silode kvaliteedist, põhu söödavuse parandamisest jms.

Tipuks Tõnu poliitika karjääris oli osalemine EV taasiseseisvumise protsessis. Teenete eest EV taassünnile kaasaaitamise eest on talle annetatud Riigivapi V klassi teenetemärk (2002) ja Riigivapi III klassi teenetemärk (2006). Temale, kui 20. Augusti Klubi liikmele, langes au heisata oma pere kolme põlvkonnaga (Tõnu koos tütre ja tütrepoegadega) Eesti taasiseseisvumise 30. aastapäeva puhul riigilipp Pika Hermannini torni. Põhjalikumalt teavet Tõnu osalemise kohta pöördelistes muutustes leiab Rein Järliku koostatud kogumikus „Kui taastasime Eesti iseseisvuse“ (2008), Lehte Hainsalu ja R. Järliku arutlustes „Mitme tule vahel...“ (2011) ja Heintz Valgu memuaarides „Pääsemine helgest tulevikust“ (2010).

Tähelepanuväärselt mahukas on Tõnu ja tema kursusekaaslaste EPA põlve käsitlev 320 leheküljeline memuaaride kogu „Elu parimad aastad 1967–1972“, mille on koostanud M. Sala jt 2014. a. Selles on ka Tõnu kirjutis oma eluloolistest sündmustest ja arvamustest Eesti maaelu kohta. Justkui kvintessents Tõnu eluloost on R. Järliku vemmälvärsilik luuletus „Ta elagu!“.

Tõnu pensionäripõlve meelistegevuseks on toimetada tema enda poolt rajatud rikkaliku aiakultuuride buketiga aias, lugeda ajalooramatuid ja suurmeeste elulugusid ning jälgida poliitilisi arenguid. Üldisest keskmisest tasemest tihedamad on olnud tema iga-aastased reisisid erinevatesse Euroopa riikidesse sh mõned neist nädalaid kestva automaatka vormis. Kuhugi ei ole kadunud poisipõlvest alguse saanud huvi traktorite, autode ja muu tehnika vastu.

Tõnu Saarmani eluloolised sündmused reastas ja tema usutlemise tulemused kirjutas üles Raimo Kõlli.

Raimo Kõlli

TA ELAGU!

Ilmale tuli me juubilar Kuldre mail,
kui eesti talurahvast kolhoosnikud said.
Lapsepõlveaastad jäidki Kuldre kanti,
ja alghariduski talle Kuldres anti.

Olid Vana-Antsla tehnikumi-aastad,
tuli EPA-sse aeg dokumendid saata.
Agronoomiat tema õppima asus,
ja me kõik ju teame, et ära see tasus.

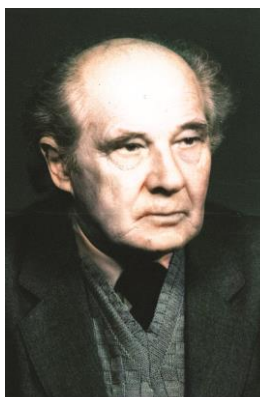
Põllumajandust tema süvitsi uuris,
nii aastad tal läksid ka aspirantuuris.
Valmis väitekirjast sai rõõmu küll maitsta,
kuid Eestis polnud, kelle ees seda kaitsta.

Tal juhtimiskunst on ilmselt vist küll veres,
sest osavalt roolib nii autot kui peret.
Kuid juhtinud on ta ka valda ja riiki,
kus vaja on läinud nii kilpi kui piiki.

See mees, kellest juttu, on Saarmani Tõnu,
talle soovida õnne on lausa mõnu.
Olgu ikka tal õnne, elagu kaua,
sest ees on ju järgmised juubelilaad!

Austusega
Rein Järlik

HERBERT KORJUS – 100



Herbert Korjus sündis 4. märtsil 1923 tookordses Tartu (nüüd Jõgeva) maakonnas Kaarepere vallas Mullavere külas talupidajate peres. Õppis Voldi ja Raigastvere algkoolis ning Tartu Kaubanduskeskkoolis (lõpetas 1944). Sattus seejärel noore mehena kohe sõtta. Osales Sinimägede lahingutes, sai haavatagi, kuid jäi ellu. Suutis hiljem ära hoida Siberisse saatmise. Õppis

Tartu Ülikooli Põllumajandusteaduskonnas, mille lõpetas agronoomina 1949. aastal.

Asus üliõpilasena tööle Jõgeva Sordiaretusjaamas praktikandina (mai, 1948), kuid juba sama aasta septembris vormistati ta tööle teaduri ametikohale kõrreliste heintaimede sordiaretajaks. Oli õnneliku elusaatusega inimene. Teda pole vintsutatud ühe uurimisteema pealt teisele. Sai pühenduda. Viis-kümmend aastat (pensionile 1998) väldanud loometöö tulemusena jõudis läbi riikliku katsetuse tootmisse kaheteistkümne taimeliigi 14 uut sorti. Need on kerahein 'Jõgeva 242', aas-rebasesaba 'Haljas', ohtetu püsikluste 'Lehis', päideroog 'Pedja', põldtimutid 'Tika' ja 'Tia', harilik aruhein 'Arni', karjamaa-raiheinad 'Raidi' ja 'Raite', itaalia raihein 'Talvike', aasnurmikas 'Esto', punane aruhein 'Kauni', sale-haguhein 'Ilo' ning harilik kastehein 'Harri'. Herbert Korjus oli läbi aegade üks produktiivsemaid sordiaretajaid Jõgeval.

Oli esimene aretaja Nõukogude Liidus, kes hakkas söödatootmiseks mõeldute kõrval tegelema murusortide aretamisega. Tema loodud aasnurmika murusort 'Esto', esimene murusort Nõukogude Liidus üldse, tõi õnnestunud nimevaliku tõttu tuntust ja populaarsust nii Eestile kui ka Jõgevale. Võttis kultuuri uue liigi sale-haguheina (*Koeleria gracilis*) ja aretas murusordi 'Ilo', mis oli esimene selle liigi sort kogu maailmas. Herbert Korjuse mitmed sordid on võetud ja kuuluvad käesoleva ajani ka teiste riikide sordinimekirjadesse.

Heintaimede sordiaretus on väga pikaajaline, aega nõudev protsess. Tegemist on mitmeaastaste taimedega millel lähte- ja aretusmaterjali üks hindamistsüklil vältab 4 aastat (rajamisaasta + 3 saagiaastat). Hea õnnestumise korral on uue sordi saamiseks tarvis läbi teha 4 tsüklit, milleks kulub minimaalselt 16 aastat. Heintaimede sordiaretuses pole kiireid lahendusi. Kui Herbert Korjus oleks töötanud korraga ainult ühe liigiga (nagu naaberriikides tavaks), oleks taolise sortide hulga loomiseks kulunud 224 aastat. Sortide aretamisel ei piirdunud Herbert Korjus kunagi miinimumajaga. Ta oli enesekriitiline kõhkleja, keda tuli sordi katsetusse üleandmisele ergutada. See eest oli üle antav aretusmaterjal

alati eelnevalt sedavõrd põhjalikult kontrollitud, et riiklikus sordikatsetuses pole kunagi tekkinud probleeme uue sordi tootmisse lubamisel. Kõik tema või tema osalusel aretatud heintaimesordid on juba aastakümneid püsinud riiklikus sordinimekirjas, mis on üsna erakordne, sest pärast Eesti taasiseseisvumist on meie nimekiri (nn sordileht) konkureerimiseks avatud kogu maailmale.

Herbert Korjus kutsus esile oma aretustööga kaks olulist muudatust.

Varem oli Jõgeval tavaks ja traditsiooniks eristada heintaimesorte numbriga. Nii olid kasutusel aasnurmikas 'Jõgeva 1', valge ristik 'Jõgeva 4', punane ristik 'Jõgeva 205', harilik aruhein 'Jõgeva 47', punane aruhein 'Jõgeva 70' jne. Numbreid oli raske meelde jätta, pealegi esines juhtumeid, kus kahel liigil oli sama numbriga sort. Herbert Korjuse töötamise ajal võeti kasutusele ühesõnalised sordinimed: aasnurmikas 'Esto', punane aruhein 'Kauni', harilik aruhein 'Arni', sale-haguhein 'Ilo', põldtimut 'Tika' jne.

Kuni teise maailmasõjani olid heintaimedel Eestis aretatud ja kasutusel peamiselt nn universaalsordid, igast liigist oli rajoonitud üks sort. Pikka aega, ka pärast teist maailmasõda, ei tehtud rohumaaviljeluse alases erialakirjanduses heintaimede sortidest juttugi (ei olnud tarvidust). Herbert Korjuse töö tulemusena jõudsid tootmisse eriotstarbelised sordid (mõeldud niidule, karjamaale, murule). Sellest tulenevalt tekkis vajadus liigi käsitlemisel ka sordinime lisamiseks. Tänapäeval ei ole mõeldav ükski rohumaale kavandatud seemneseugu ilma sordinimedeta.

Kõrreliste heintaimede, mille aretusega Herbert Korjus tegeles, on tuulristtolmlejad, millest tuleneb ruumilise isolatsiooni arvestamise vajadus. Isolatsiooni nõude tõttu ei saa heintaimede aretus- ja algseemne põllul paikneda koos suviteraviljade ja kartuliga keskuses külvikorra väljadel. Iga-aastasteks rajamisteks tuli külvidele leida uus asukoht, mõnikord keskusest 3–4 km kaugusel, mis loomulikult raskendas tööde korraldamist. Jõgeva sordiaretajate seas ainsana kasutas Herbert Korjus autovaesel ajal abivahendina küljkorviga mootorratast M 750.

Sordiaretuse kõrval tegeles Herbert Korjus kõrreliste heintaimede seemnekasvatuse agrotehnika uurimistööga. Kandidaadi väitekirja kirjutas teemal *Aasnurmika seemnekasvatuse bioloogilisi ja agrotehnilisi aluseid Eestis* (kaitses 1968). Oli eriala suurim autoriteet Eestis. Kirjutas sõjajärgsel perioodil väljaantud käsiraamatutes ja õpikutes kõrreliste heintaimede seemnekasvatust käsitlevad peatükid.

Herbert Korjus lahkus igavikuteedele 30. novembril 2001.

Ants Bender

