



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) ohtrus (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

sademetepoolt olid märts, aprill ja september väga põuased, samas kui mai, juuni ja august väga sademeterohked. 2015. aasta temperatuurid ei erinenud kuigivõrd keskmisest, kuid sademete poolt 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

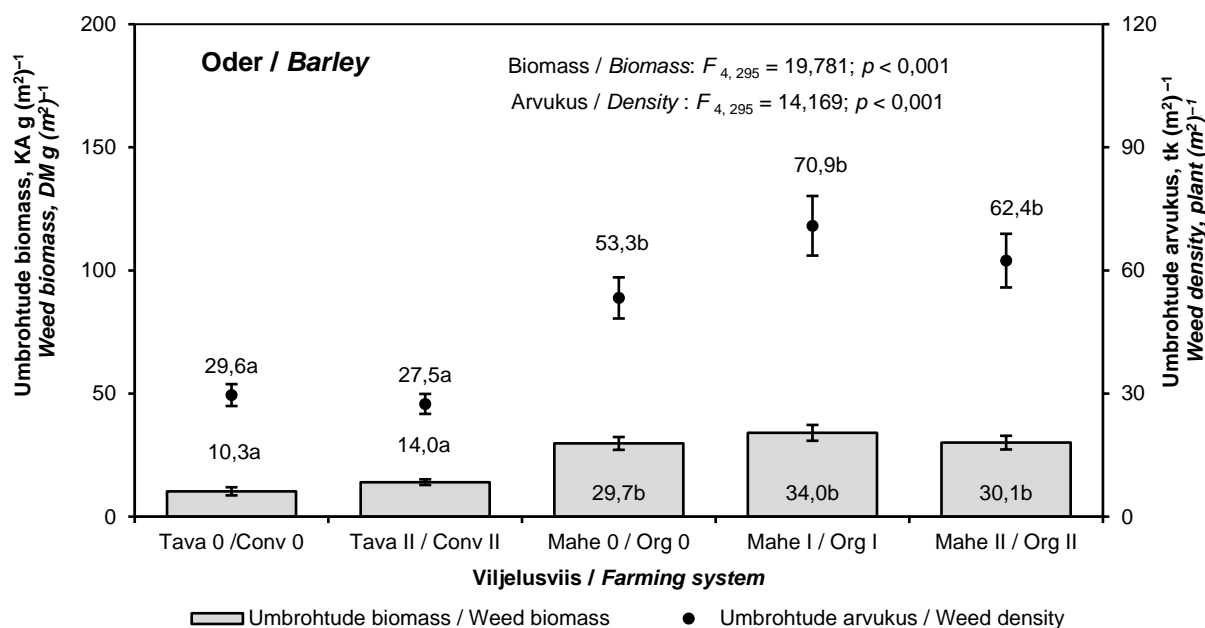
Umbrohtude arvukus ja biomass

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 püsivust 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 poolt sellist erinevust ei olnud. Mahesüsteemides oli umbrohtude arvukus odraga võrreldes mitmekordselt väiksem, kuid biomass jäi samale tasemele. Sealjuures mahesüsteemid üksteisest usutavalt ei erinenud.

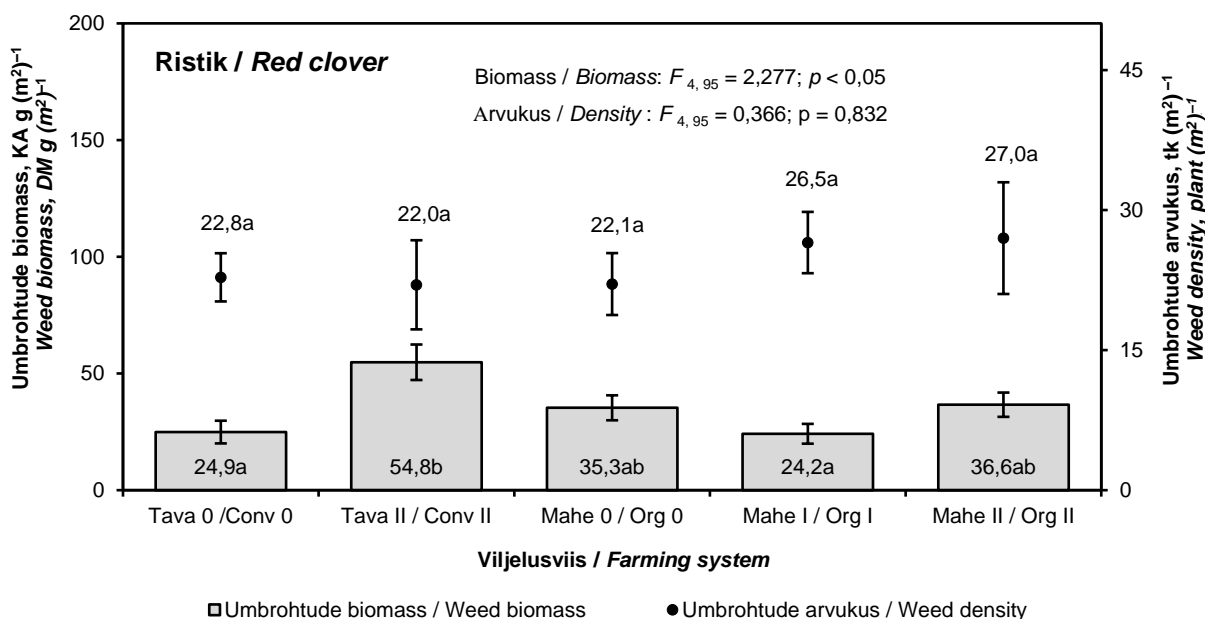
Ristikule järgneva talinisu tavasüsteemid umbrohtude tulemustelt üksteisest ei erinenud, kuid võrreldes eelneva kultuuriga olid arvukused kõrgemad, biomassid jäid madalamaks (joonis 3). Mahesüsteemide umbrohtude biomassid olid tavasüsteemide omadest usutavalt suuremad ning ka arvukus oli kõrgem. Mahe 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.



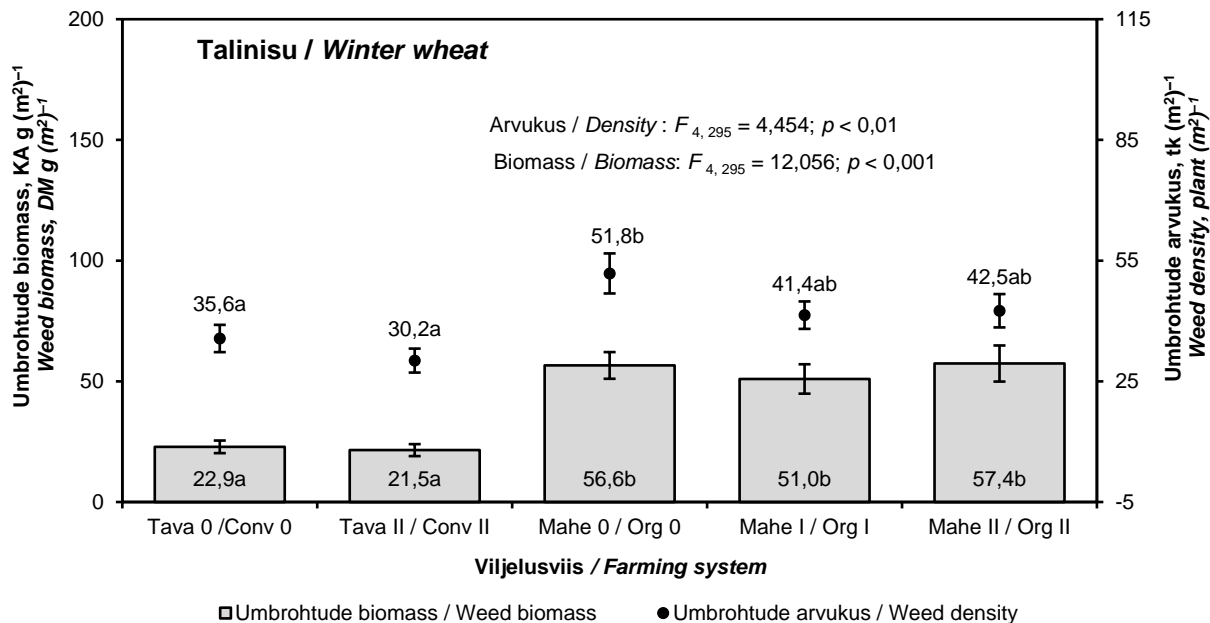
Joonis 1. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja arvukus (taime (m²)⁻¹) odras keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad standardhälvet,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

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, $n = 60$



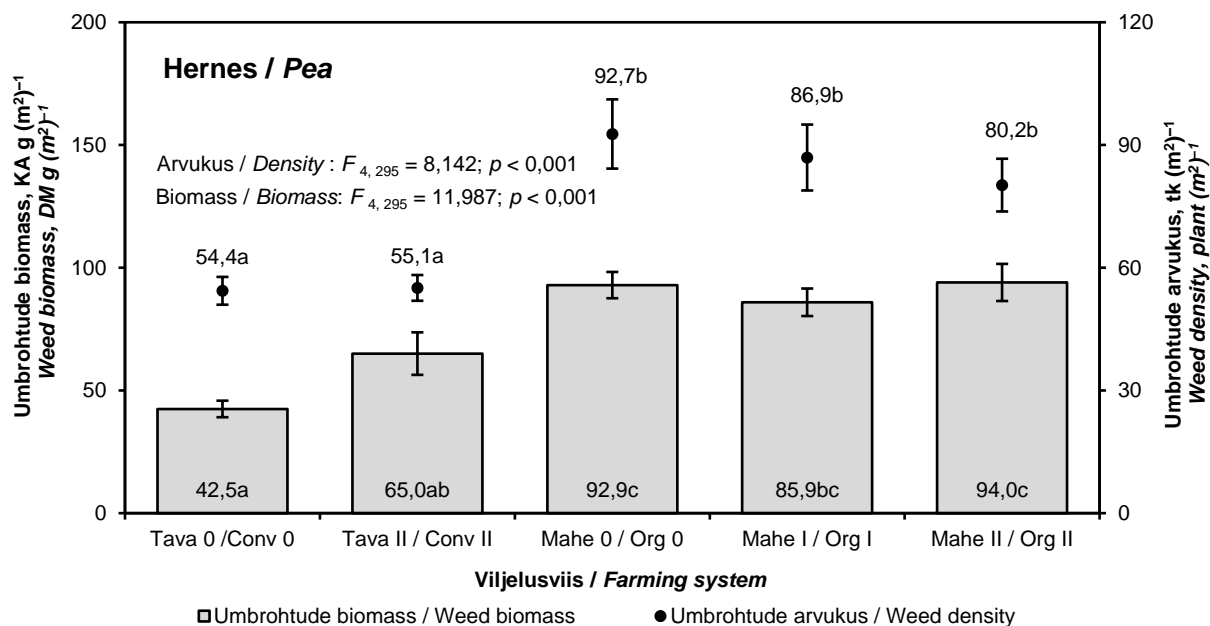
Joonis 2. Umbrohtude biomass (KA – kuivaine g (m²)⁻¹) ja arvukus (taime (m²)⁻¹) punases ristikus keskmistena aastatel 2013–2017. Statistiliselt usaldusväärsed erinevused (Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$) on märgitud variantide vahelistes võrdlustes erinevate tähtedega. Vearibad joonisel tähistavad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

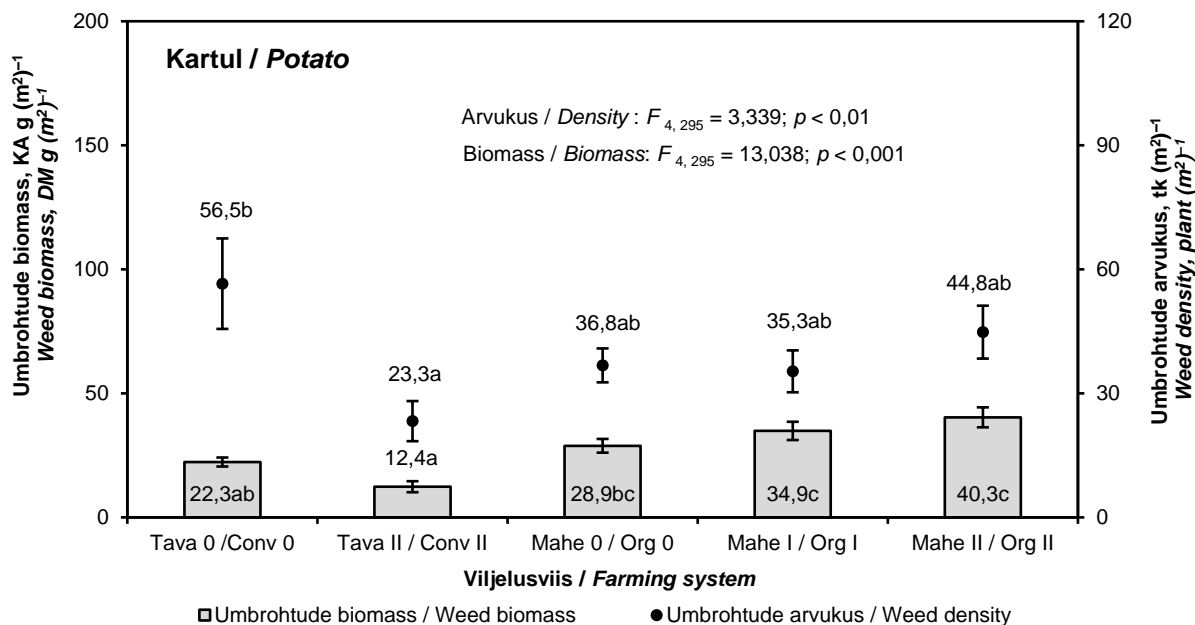
Figure 4. Weed biomass (DM, g (m²)⁻¹) and density (plant (m²)⁻¹) in pea plots, average of 2013–2017. Means followed by a different letters indicate significant influence of crops (Tukey HSD post-hoc test, p < 0.05). Error bars denote the standard error of the means, n = 60

Ühes vähesema umbrohtumisega kultuuris kartulis erinesid statistiliselt üksteisest vaid tavasüsteemid, kusjuures tava kontrollisüsteemis (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

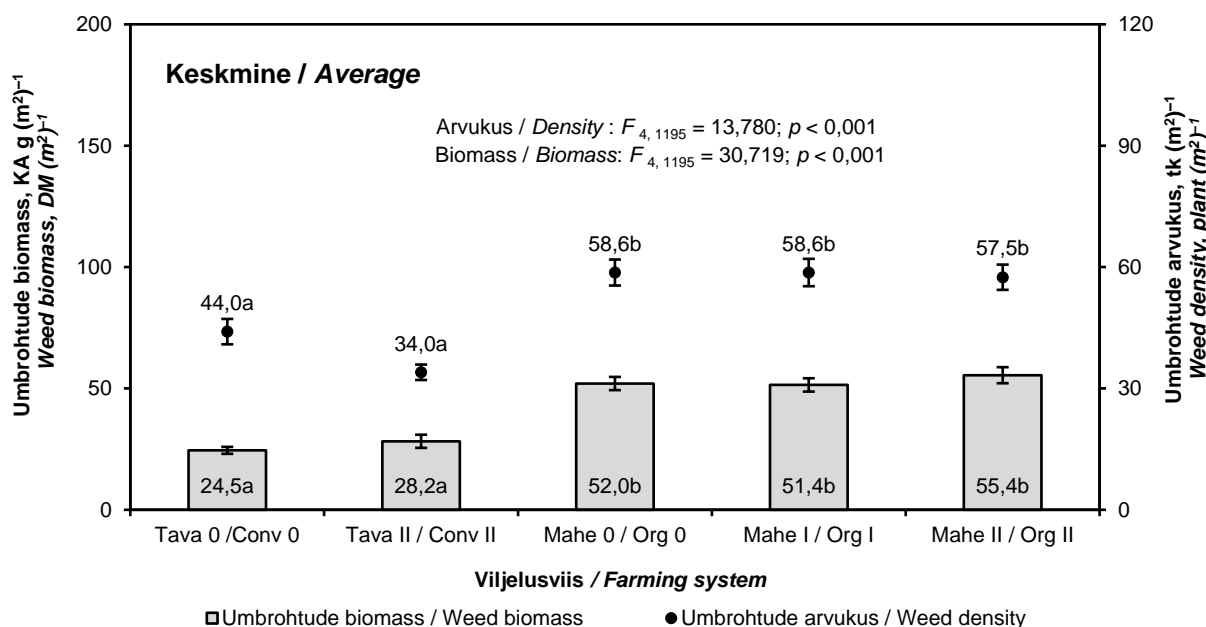
viljelusviiside mõju umbrohtude arvukusele ning biomassile, selgus et usaldusväärselt erinesid üksteisest üksnes tava- ja maheüsteemid, samas kummaski ei olnud süsteemide vahel usutavat erinevust (joonis 6). Tavasüsteemides avaldus tendents, et kontrollsüs-

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 viljellussüsteemist.



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 – töötuse 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 mahesüsteemid erinesid umbrohtude arvukuselt ja biomassilt, kuid kas ka umbrohtude mitmekesisusel ning rotatsiooni mõjult sellele? Tulemused näitasid, et mahesüsteemides 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 mahesüsteemides 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 mahesüsteemides. Humalutsern (*Medicago lupulina* L.) oli alguses üksnes mahesüsteemides, kuid puudus seal rotatsiooni lõpus

ning täielikult tavasüsteemidest. Karukeel (*Anchusa arvensis* (L.) M. Bieb) esines vaid mahesüsteemides. Kahar kirburohi (*Polygonum lapatifolium* L.) ilmus mõlemasse süsteemi rotatsiooni lõpuks. Harilik liivkann (*Arenaria serpyllifolia* L.) tuli üksnes mahesüsteemidesse 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 mahesüsteemides 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 mahesüsteemides 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 mahesüsteemide omi. Rotatsiooni jooksul vähenes vaid süsteemi Tava II mitmekesisus, samas kui Tava 0 S-W indeks ületas kõiki teisi, ka mahesüsteeme.

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.

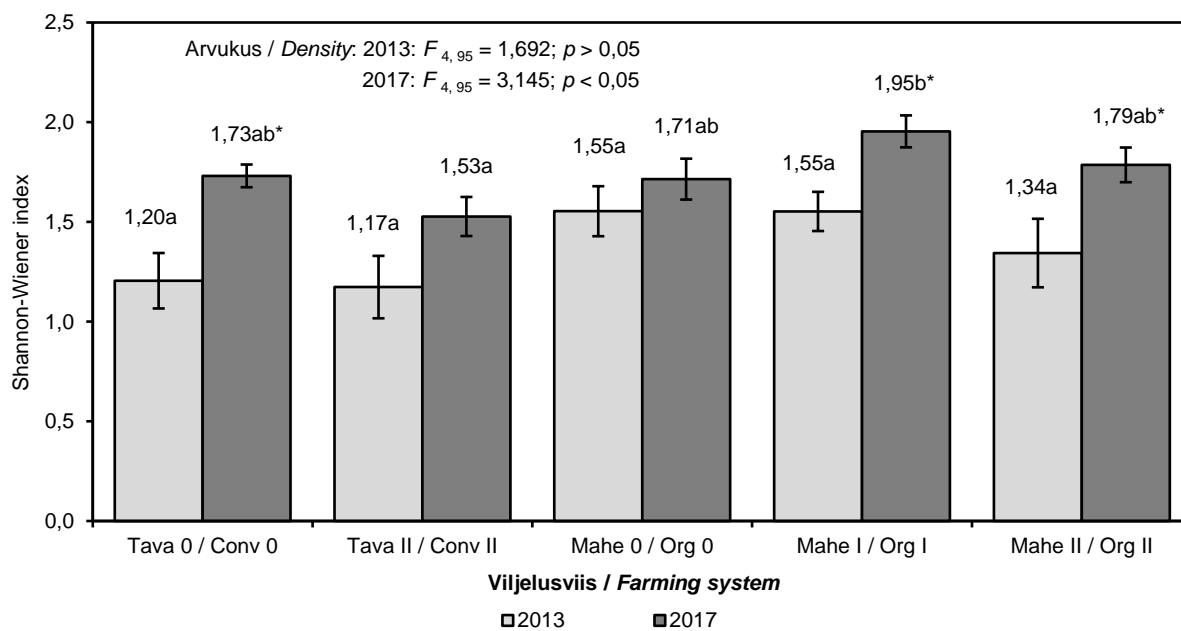
Kõikide külvikorkultuuride keskmiste erivevate kasvatussüsteemide S-W indeksite väärtuste võrdlus teise rotatsiooni alguses ja lõpus näitas, et rotatsiooni lõpuks kasvas mitmekesisus usaldusväärselt süsteemides Tava 0, Mahe I ning Mahe II (joonis 7). Usaldusväärtus erinevus rotatsiooni lõpuks ilmnis 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 resistentsuse 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 kasvatusüsteemides 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.