



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 5/2023

Luomutuotannon vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen pohjoisessa maatalous- ympäristössä

Synteesiraportti

Sari Iivonen, Johan Ekroos, Marleena Hagner, Terho Hyvönen,
Ari Järvinen, Ansa Palojärvi ja Marjaana Toivonen

Luomutuotannon vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen pohjoisessa maatalousympäristössä

Synteesiraportti

**Sari Iivonen, Johan Ekroos, Marleena Hagner, Terho Hyvönen,
Ari Järvinen, Ansa Palojärvi ja Marjaana Toivonen**



Viittausohje:

Iivonen, S., Ekroos, J., Hagner, M., Hyvönen, T., Järvinen, A., Palojärvi, A. & Toivonen, M. 2023. Luomutuotannon vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen pohjoisessa maatalousympäristössä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 5/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 45 s.



ISBN 978-952-380-597-2 (Painettu)

ISBN 978-952-380-598-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-598-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Sari Iivonen, Johan Ekroos, Marleena Hagner, Terho Hyvönen, Ari Järvinen, Ansa Palojärvi ja Marjaana Toivonen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisuvuosi: 2023

Kannen kuva: Vesa Koivu

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi>

Tiivistelmä

Sari Iivonen¹, Johan Ekroos², Marleena Hagner¹, Terho Hyvönen¹, Ari Järvinen¹, Ansa Palojärvi¹ ja Marjaana Toivonen³

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki

² Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsinki

³ Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Luomutuotannon vahvuutena on pidetty maatalousluonnon monimuotoisuuden ylläpitoa. Luomutuotannossa pyritään myös lisäämään ja hyödyntämään tuotantoa palvelevaa monimuotoisuutta maan kasvukunnon hoidon, pölytyksen ja kasvinsuojelun tukena. Useat laajat tutkimuskatsaukset ovat tuoneet esille luomutuotannon positiivisia monimuotoisuusvaikutuksia Suomea lauhkeammilla viljelyalueilla. Luomutuotannon positiiviset monimuotoisuusvaikutukset riippuvat kuitenkin eliöryhmästä, tuotantosuunnasta ja maankäytön intensiteetistä.

Tässä raportissa on kartoitettu olemassa oleva tutkimustieto luomutuotannon monimuotoisuusvaikutuksista Suomessa ja laajemmin borealisilla eli pohjoisilla maatalousalueilla. Monimuotoisuutta esiintyy useilla tasoilla. Tehdyt tutkimukset keskittyvät erityisesti luonnonvaraisen eliöstön lajimonimuotoisuuteen. Maatalousympäristön luonnonvarainen eliöstö kattaa maanpäällisen ja maanalaisen eliöstön laajoine vuorovaikutussuhteineen. Luonnon monimuotoisuutta voi kuitenkin tarkastella myös geneettisellä tasolla, ekosysteemien tasolla tai tuotantoeliöstössä.

Eri eliöryhmistä eniten on saatavilla tietoa luomutuotannon vaikutuksesta rikkakasveihin. Tutkimuksissa luomutuotannon on havaittu lisäävän rikkakasvien runsautta ja lajiston monimuotoisuutta. Luomutuotannon vaikutuksia muihin eliöryhmiin borealisella vyöhykkeellä on tutkittu vain vähän. Tutkimusten perusteella luomutuotannolla on positiivinen tai neutraali vaikutus pölyttäjiin, lintuihin, maaperän mikrobistoon ja maaperäeläimiin. Petoniveljalkaisten ja päiväperhosten lajikirjossa tai yksilömäärässä ei ole havaittu eroja tuotantotapojen välillä. Luomutuotannon hyödyt monille eliöryhmille korostuvat maatalousvaltaisessa maisemassa, ja tästä syystä vaikutukset näkynevät metsävaltaisessa Suomessa heikosti.

Monimuotoisuutta tukevia ja edistäviä toimia voidaan tehdä kaikilla tiloilla. Keskeistä olisi tarjota riittävästi ravinto- ja lisääntymisresursseja erilaisille eliöille sekä vähentää ekosysteemiin kohdistuvia häiriöitä. Useimpien eliöryhmien monimuotoisuutta voitaisiin tukea lisäämällä avoimia viljelemättömiä alueita kuten pientareita, niittyjä ja pitkäaikaisia kesantoja sekä monipuolistamalla maankäyttöä maisematasolla. Pölyttäjien menestymistä voidaan tukea myös lisäämällä viljelykiertoon monipuolisesti palkokasveja ja muita hyönteispölytteisiä kasveja. Maaperäeliöstön menestymisen kannalta maanmuokkauksen vähentäminen olisi luomutuotannosakin tavoiteltavaa.

Asiasanat: luonnonmukainen maatalous, biodiversiteetti, kasvit, pölyttäjät, petoniveljalkaiset, maaperäeläimet, maaperämikrobit, linnut, päiväperhoset

Abstract

Impacts of organic farming on biodiversity in boreal agricultural environments

Sari Iivonen¹, Johan Ekroos², Marleena Hagner¹, Terho Hyvönen¹, Ari Järvinen¹, Ansa Palojarvi¹ ja Marjaana Toivonen³

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki

² University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Helsinki

³ Finnish Environment Institute, Helsinki

Maintaining biodiversity in agriculture has been regarded as one of the strengths of organic production. Organic production seeks to enhance functional diversity that serves production to support soil fertility management, pollination and crop protection. Several extensive research reviews have highlighted the positive impact of organic production on biodiversity, but a majority of the research has been conducted in temperate regions. However, the positive impact of organic production on biodiversity depends on the group of organisms, production system and the intensity of land use.

This report is a synthesis of existing research data on the impact of organic production on biodiversity in Finland and more extensively in boreal (i.e. northern) agricultural areas. Biodiversity is a hierarchical concept that can be measured at several levels. The studies conducted focus particularly on the species richness and diversity of organism groups that naturally occur in farmland. In an agricultural environment, these organism groups cover above- and below-ground organisms, including their multifaceted interactive relationships. However, biodiversity can also be examined at a genetic level, the level of ecosystems or at the level of production organisms.

With regard to different groups of organisms, most information is available about the impact of organic production on weeds. In studies, organic production has been found to increase weed abundance and species richness. The impact of organic production on other groups of organisms in the boreal zone has only been studied to a small extent. Organic production has a positive or neutral impact on pollinators, birds, soil microbiota and soil animals. Concerning predatory arthropods and butterflies, no differences in the species richness or the number of individuals have been identified between production methods so far. In general, the benefits of organic production for many groups of organisms become clearer in landscapes dominated by agriculture, and therefore the impact might not become particularly visible in forest-covered Finland.

Actions that support and enhance biodiversity can be taken on all farms, irrespective of the production system. Particularly important actions include offering sufficient resources relevant for the persistence and reproduction of various organisms and reducing adverse effects of disturbance on the ecosystem. The diversity of most groups of organisms can be supported by increasing open uncultivated areas, including edge areas, meadows and long-term fallows, and by diversifying land use at a landscape level. The success of pollinators can also be supported by adding diverse legumes and other insect-pollinated crops to the crop rotation. Regarding the success of soil biota, reducing soil tillage should be the target in organic production, as well.

Keywords: biodiversity, birds, butterflies, organic farming, plants, pollinators, predatory arthropods, soil organisms, soil microbes

Esipuhe

Suomen kansallinen luomuohjelma Luomu 2.0 on asettanut kunnianhimoiset tavoitteet lisätä suomalaista luomutuotantoa, luomutuotteiden kulutusta ja vientiä. Nämä tavoitteet ovat hyvin linjassa EU:n Pellolta pöytään- ja Biodiversiteetti -strategioiden luomutuotannon kasvutavoitteiden kanssa. Euroopan komissio on asettanut tavoitteeksi lisätä luomupeltopinta-alaa 25 %:iin peltopinta-alasta vuoteen 2030 mennessä.

Luontokato on aikamme uhka. Maankäytön muutokset, ilmastonmuutos, torjunta-aineiden runsas käyttö maataloudessa, vieraslajien leviäminen ja viljelyn yksipuolistuminen köyhdyttävät luonnon monimuotoisuutta.

Luomutuotannon tavoitteena on tuottaa ruokaa ympäristöystävällisellä tavalla, ja ympäristöasioiden parempi huomioiminen onkin yksi luomutuotteiden myyntiargumentti. Jotta kuluttajille annetut lisäarvolupaukset voidaan lunastaa ja luomutuotantoa kehittää entistä kestävämpään suuntaan, on tärkeää tuottaa tutkimukseen pohjautuvaa tietoa luomutuotannon ympäristövaikutuksista.

Kansainvälinen tutkimus on osoittanut luomutuotannolla olevan positiivisia vaikutuksia useiden eri maatalousympäristössä elävien eliöryhmien monimuotoisuuteen. Tällä hetkellä kansainväliseen tutkimukseen perustuva argumentointi perustuu kuitenkin pitkälti muualla kuin Suomessa tai laajemmin boreaalisella vyöhykkeellä tuotettuun tietoon. Onkin tarpeen arvioida, mitä luomutuotannon monimuotoisuusvaikutuksista tiedetään Suomessa ja pohjoisissa olosuhteissa, sekä millaisia tietoa meillä on. Tämä auttaa suuntaamaan myös tulevaa tutkimusta erityisesti niihin aihepiireihin, joista meillä on vielä toistaiseksi vähän tietoa.

Tämä synteesiraportti on laadittu Luonnonvarakeskuksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Helsingin yliopiston tutkijoiden yhteistyönä, ja työn rahoituksesta on vastannut Luomuinstituutti. Raportin kirjoittajat ovat vastanneet asiantuntemuksellaan eri kappaleiden kirjoittamisesta ja osallistuneet johtopäätösosion kirjoittamiseen. Kuvamateriaali on peräisin tutkijoiden ja Luomuinstituutin arkistoista. Sari Iivonen on kirjoittanut johdantoa ja johtopäätösosioita yhteistyössä muiden kirjoittajien kanssa sekä toimittanut tekstiä yhdessä Milla Seiron kanssa.

Sisällys

1. Johdanto	7
2. Tuotannollinen monimuotoisuus.....	9
3. Luomutuotannon monimuotoisuusvaikutukset luonnonvaraiseen eliöstöön maatalousympäristössä.....	10
3.1. Maanpäällinen monimuotoisuus	10
3.1.1. Kasvit	10
3.1.2. Pölyttäjät	12
3.1.3. Päiväperhoset.....	15
3.1.4. Petoniveljalkaiset	17
3.1.5. Linnut.....	20
3.2. Maaperän eliöstö	22
3.2.1. Maaperän mikrobisto.....	23
3.2.2. Maaperäeläimet	26
4. Johtopäätökset.....	30
Viitteet.....	35

1. Johdanto

EU:n yhteisen luomuasetuksen (EU 2018) mukaan luonnonmukainen tuotanto eli luomutuotanto on kokonaisvaltainen tilanhoidon ja elintarviketuotannon järjestelmä, jossa yhdistyvät ympäristön ja ilmastotoimien kannalta parhaat käytännöt, runsas biologinen monimuotoisuus, luonnonvarojen säästäminen sekä eläinten hyvinvoinnin huomioimiseen liittyvät tiukat vaatimukset tuotannossa.

Luomu poikkeaa tavanomaisesta maataloustuotannosta siten, että se perustuu EU:n yhteisen luomuasetuksen määrittelemiin tuotantosääntöihin. Suomessa luomutuottajat ovat sitoutuneet Ruokaviraston ohjaamaan luomuvälvontaan. Luomun tuotantoehtojen mukaan esimerkiksi synteettisten kasvisuojeluaineiden ja väkilannoitteiden käyttö ei ole sallittua, luomukotieläimet laiduntavat ja niitä ruokitaan luomurehuilla.

Luomutuotannon yhtenä vahvuutena on pidetty maatalousluonnon monimuotoisuuden ylläpitoa. Useat laajat tutkimuskatsaukset ovat tuoneet esille luomutuotannon positiivisia monimuotoisuusvaikutuksia Suomessa lauhkeammilla viljelyalueilla (Tuck ym. 2014, Sanders & Hess 2019, Lichtenberg ym. 2017). Luomutuotannon positiiviset monimuotoisuusvaikutukset riippuvat kuitenkin eliöryhmästä, tuotantosuunnasta ja maankäytön intensiteetistä (Tuck ym. 2014, Smith ym. 2020).

Luomutuotantoa kohtaan esitetty kritiikki kohdistuu useimmiten luomutuotannon tavanomaista tuotantoa alhaisempiin satotasoihin ja suurempaan maankäyttöön viljelykiertovaatimuksen vuoksi. Suurempi peltopinta-alan tarve voi johtaa luonnonvaraisten alueiden ottamiseen maataloustuotannon piiriin, etenkin jos pyritään saavuttamaan yhtä suuria kokonaissatoja kuin olisi saavutettavissa tavanomaisen tuotannon menetelmin (Smith ym. 2019). Erityisen haitallisena monimuotoisuuden vähenemisen näkökulmasta on pidetty trooppisten metsien raivaamista maatalousmaaksi. Luonnon monimuotoisuuden näkökulmasta luonnonvaraisten alueiden valjastaminen maataloustuotantoon ei ole toivottavaa. Paikallisena ilmiönä monimuotoisuuden heikkeneminen on hälyttävää, sillä ekosysteemien toiminta kaikkialla maailmassa on elinehtomme.

Maankäyttöön liittyviä monimuotoisuusvaikutuksia on tarkasteltava paikallisista lähtökohdista käsin. Luomutuotannon laajentaminen Suomessa on toteutettavissa nykyisellä peltoalalla, eikä meillä ole tarvetta raivata metsiä pelloiksi. Vuonna 2022 Suomessa oli maatalousmaata yhteensä noin 2,3 miljoonaa hehtaaria, josta luomutuotannossa oli 14,8 %. Luomutuotannon monimuotoisuusvaikutuksia on täällä perusteltua tarkastella maatalousympäristössä, etenkin jos tavoitteena on ylläpitää nykyisen peltoalamme ruoantuotantokykyä. Suomessa tuotantoolosuhteet ovat maatalousmaiseman ja tilarakenteen erojen takia erilaiset kuin monilla muilla luomutuotantoalueilla Euroopassa tai Pohjois-Amerikassa. Maapinta-alastamme 75 % on metsää, ja suomalaiselle maatalousympäristölle on ominaista peltolohkojen pieni koko ja metsien läheisyys. Tämä korostuu erityisesti metsäisissä maakunnissamme. Viljelemättömien ympäristöjen runsas määrä voi suojata osaa luonnonvaraisista lajeista viljelyn vaikutuksilta vähentäen myös tuotantotapojen välisiä eroja (esim. Ekroos ym. 2010a, Holzschuh ym. 2007).

Ruoantuotannon ympäristövaikutuksia tarkastellaan usein elinkaariarvioinnin menetelmien avulla. Nykyisin käytössä olevat menetelmät eivät vielä huomioi riittävän hyvin tuotannon monimuotoisuusvaikutuksia ja siten jättävät huomiotta agroekologisten viljelytapojen, kuten luomutuotannon vahvuudet monimuotoisuuden ylläpidossa (van der Werf ym. 2020).

Elinkaariarvioinnin menetelmät on alun perin kehitetty teollisuustuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin, ja ne keskittyvät yleensä päästöjen minimointiin tuoteyksikköä kohti. Näiden menetelmien soveltaminen maataloustuotantoon suosii intensiivistä tuotantoa, jossa pienellä pinta-alalla saavutetaan korkeita satoja, huolimatta korkeasta pinta-alakuormituksesta. Tällainen tarkastelutapa ei huomioi luonnon monimuotoisuuden nojaavia ja tuotannon edellytyksenä olevia ekosysteemipalveluita, jotka kärsivät intensiivisestä tuotannosta, ja joiden hoito tapahtuu maisematasolla (van der Werf ym. 2020). On tärkeää huomioida, että maatalousmaan käyttöä ei voida tehostaa loputtomiin ilman haittavaikutuksia, sillä intensiivinen tuotanto voi rapauttaa vähitellen maatalousekosysteemien tuottokyvyn.

Viimeisen 35 vuoden aikana suomalaisten maatalousmaiden hiilivarasto on laskenut 17 % (Heikkinen ym. 2013). Vuosien 2009 ja 2018 välillä maaperän vuotuinen hiilivaraston lasku on ollut noin 0,35 % (Heikkinen ym. 2022). Meneillään oleva maatalousmaiden hiilivaraston ja samanaikaisen biodiversiteetin laskun tiedetään liittyvän vahvasti intensiiviseen maankäyttöön (Diaz ym. 2019). Yksivuotisten viljelykasvien viljely lisää peltomaan hiilikadon riskiä (Heikkinen ym. 2022). Maaperäeliöstön määrää ja diversiteettiä maataloudessa vähentävät raskaat, maata tiivistävät ja maan rakennetta rikkovat viljelymenetelmät yhdistettynä synteettisten lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttöön (Tsiafouli ym. 2015, Christel ym. 2021).

Työn tavoite

Tämän raportin tavoitteena on kartoittaa ja analysoida olemassa oleva tutkimustieto luomutuotannon monimuotoisuusvaikutuksista Suomessa ja laajemmin boreaalisilla alueilla. Maataloustuotannon monimuotoisuusvaikutukset ovat kytköksissä tuotantosuuntiin ja tuotantotapoihin.

Raportissa tarkastellaan, löytyykö luomutuotannon vaikutuksista maatalousympäristön monimuotoisuuden suoraa näyttöä pohjoisissa olosuhteissa, ja mitkä tekijät tuotantotavassa vaikuttavat tarkasteltaviin eliöryhmiin.

Lopuksi pyritään arvioimaan mitkä tekijät ovat monimuotoisuuden näkökulmasta tärkeitä, mutta tuotantotavoista riippumattomia ja millä keinoin myös luomutuotantoa voisi kehittää monimuotoisuutta tukevaan suuntaan. Tarkastelu lisää myös ymmärrystämme tulevaisuuden tutkimustarpeista ja auttaa suuntaamaan tutkimusta olemassa olevien tietoa aukkojen täyttämiseen.

Tietolaatikko 1

Maatalousympäristön biodiversiteetti syntyy ihmisen ja luonnon vuorovaikutuksessa. Se koostuu tuotannollisesta monimuotoisuudesta sekä tuotannon oheisesta monimuotoisuudesta, joita voi tarkastella geneettisen, laji- ja ekosysteemimonimuotoisuuden tasoilla.

Tuotannolliseen monimuotoisuuteen kuuluu viljelykasvien ja kotieläinten geneettinen monimuotoisuus ja lajimonimuotoisuus sekä tuotantoekosysteemien monimuotoisuus. Tuotannon oheinen monimuotoisuus käsittää kaiken muun maatalousympäristön biodiversiteetin, esimerkiksi viljelykasvien pölyttäjät, tuholaiset ja niiden luontaiset viholliset sekä peltomaiseman viljelemättömien alueiden kuten piennarten eliöyhteisöt.

Tuotannon oheinen monimuotoisuus on pääosin maataloustuotantoa palvelevaa tai neutraalia, mutta osittain myös tuotannolle haitallista. Luomutuotannossa pyritään lisäämään ja hyödyntämään tuotantoa palvelevaa monimuotoisuutta maan kasvukunnon hoidon, pölytyksen ja kasvinsuojelun tukena.

2. Tuotannollinen monimuotoisuus

Luomutuotannon viljelykiertovaatimus edellyttää ja samalla tukee viljelykasvien monimuotoisuutta. Kansainvälisissä tutkimuksissa on osoitettu, että luomutilojen viljelykierrot ovat pidempiä ja sisältävät laajemman viljelykasvivalikoiman kuin tavanomaisten tilojen viljelykierrot (Barbieri ym. 2017, 2019). Suomessa luomutiloilla on palkokasvivaatimus. Palkokasvivaatimus tarkoittaa Suomessa sitä, että luomupeltolohkon viljelykierrosta pitää 30 % olla palkokasveilla. Tyypillisesti luomutilojen viljelykierrot ovat neljä-viisivuotisia ja ne sisältävät useitakin nurmi-
vuosia.

Viljelykiertoa on noudatettava kaikilla luomuvalvontaan kuuluvilla lohkoilla. Viljakasveja tai palkoviljoja voi olla enintään kolmena vuotena ja perunaa sekä saman kasvisuvun yksivuotisia erikoiskasveja enintään kahtena vuotena peräkkäin kullakin lohkoilla. Luomutilat hyödyntävät monipuolisesti alus- ja kerääjäkasveja ja sekaviljelyä (Känkänen & Iivonen 2021), mutta kattavaa vertailua luomutuotannon ja tavanomaisen tuotannon viljelykiertojen eroista ei ole meillä saatavilla.



Kuva 1. Luomutilojen viljelykiertoissa hyödynnetään palkokasvien, kuten puna-apilan typensidontaa. Kuva: Sari Iivonen.

Viljelykiertojen monipuolisuus heijastuu tuotantoekosysteemien moninaisuuteen, sillä viljelykierrot vaikuttavat yhdessä tuotantosuuntien kanssa erityyppisten peltojen, kuten esimerkiksi monivuotisten nurmien, kevätviljojen ja syysmuotoisten kasvien rikkauteen ja jakaumaan maisemassa. Myös kasvin- ja kotieläintuotannon yhdistäminen ja laiduntava karja lisäävät tuotantoekosysteemin monimuotoisuutta. Luomukasvintuotannossa karjanlannan ravinteiden hyödyntäminen on oleellinen osa ravinnehuoltoa.

Maatiaiskasvien ja alkuperäisrotujen hyödyntäminen tuotannossa on yksi tapa säilyttää geneettistä monimuotoisuutta ja varmistaa viljelykasvien ja kotieläinten geneettinen sopeutuminen ajan myötä tapahtuviin ilmasto- ja ympäristömuutoksiin. Luomutiloilla hyödynnetään alkuperäislajikkeita ja -rotuja, mutta kattavaa tietoa ei ole saatavilla hyödyntämisen yleisyydestä ja laajuudesta.

3. Luomutuotannon monimuotoisuusvaikutukset luonnonvaraiseen eliöstön maatalousympäristössä

Maatalousympäristön luonnonvarainen eliöstö kattaa maanpäällisen ja maanalaisen eliöstön laajoine vuorovaikutussuhteineen. Seuraavaksi tarkastellaan luomutuotannon vaikutuksia luonnonvaraisiin eliöihin maan päällä ja maaperässä.

3.1. Maanpäällinen monimuotoisuus

3.1.1. Kasvit

Terho Hyvönen, Luonnonvarakeskus

Maatalousympäristön kasvillisuus voidaan jakaa peltojen rikkakasveihin, pientareiden kasvillisuuteen sekä puoliluonnontilaisten elinympäristöjen, kuten ketojen ja niittyjen kasvillisuuteen. Näistä peltojen rikkakasveihin tuotantotapa vaikuttaa selvimmin. Borealisella alueella luomutuotannon vaikutuksia rikkakasveihin on tutkittu paljon erityisesti Suomessa (esim. Hyvönen & Salonen 2002, Hyvönen ym. 2003, Salonen ym. 2001, 2011, Toivonen ym. 2022a) ja jossain määrin myös Ruotsissa (Rydberg & Milberg 2000, Carrié ym. 2022) sekä Tanskassa (Hald 1999). Näissä tutkimuksissa luomutuotannon on havaittu lisäävän rikkakasvien runsautta ja lajiston monimuotoisuutta.

Luomutuotannon vaikutuksista piennarkasvien monimuotoisuuteen ei ole Suomessa julkaistu vertaisarvioituja julkaisuja (ks. kuitenkin Tarmi & Bäckman 2004). Puoliluonnontilaisten maatalouselinympäristöjen kasvillisuutta on tutkittu paljon Pohjoismaissa, mutta ei erityisesti luomunäkökulmasta. Poikkeuksena ovat kaksi Ruotsissa tehtyä tutkimusta (Weibull ym. 2003, Carrié ym. 2022), joissa luonnonlaitumilta ei löydetty eroa kasvien lajimäärässä tavanomaisia ja luomutiloja verrattaessa. Pientareiden ja puoliluonnontilaisten maatalousympäristöjen – toisin kuin peltojen – osalta kasveihin kohdistuvat toimenpiteet eivät eroa riittävästi luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn välillä tuottaakseen eroja lajiston monimuotoisuuteen.

Kevätviljapeltojen rikkakasvien osalta Suomessa on tehty eri vuosikymmenillä kattavia kartoituksia (Mukula ym. 1969, Erviö & Salonen 1987, Salonen ym. 2001, 2011), jotka tarjoavat yleiskuvan kasvilajistosta ja sen muutoksista. Kartoituksissa mukana olleiden peltolohkojen lukumäärä on vaihdellut kartoitusten välillä, mikä vaikuttaa havaittuihin kokonaislajimääriin. Kahdessa viimeisessä kartoituksessa löydettyjen rikkakasvien kokonaislajimäärät olivat 175 ja 188 lajia. Luomuviljelyn yleistyttyä 1990-luvun puolivälin jälkeen, kolmanteen kartoitukseen (1997–1999) haettiin erityisesti luomupeltoja. Luomupeltojen keskimääräinen lajimäärä (24 lajia) oli suurempi kuin tavanomaisesti viljellyillä pelloilla (16 lajia) (Salonen ym. 2001). Rikkakasvien tiheys ja biomassa olivat myös huomattavasti suurempia: luomupelloilla rikkakasvit muodostivat 17 % viljan ja rikkakasvien yhteisbiomassasta, kun se oli tavanomaisesti viljellyillä pelloilla 3 %. Lajiston koostumus oli paljolti samanlainen molemmissa viljelymenetelmissä. Kun kartoitus toistettiin 10 vuoden kuluttua (Salonen ym. 2011), lajimäärien erot olivat samansuuntaiset (luomu 21 vs. tavanomainen 12 lajia). Jokioisissa tehdyssä pitkäaikaisessa kenttäkokeessa havaitut keskimääräisten lajimäärien erot tuotantotapojen välillä olivat yhteneväiset kartoitustulosten kanssa (luomu 20 vs. tavanomainen 13 lajia) (Hyvönen & Salonen 2002).

Koska lajimäärä on riippuvainen yksilömäärästä, Hyvönen ym. (2003) vertailivat tavanomaisesti viljeltyjen karja- ja viljatilojen kevätiljapeltojen rikkakasvien lajimääriä luomupeltojen lajimääriin ottamalla tämän riippuvuuden huomioon tilastanalyysissä. Lajimäärät erosivat luomun eduksi, mutta lajimäärien keskimääräinen ero oli vain kaksi lajia. Ero oli samansuuruinen sekä touko-kesäkuussa että heinä-elokuussa, tavanomaisesti viljeltyjen peltojen rikkakasvien torjunta-ainekäsittelyn jälkeen. Kokonaislajimäärät erosivat tuotantotapojen välillä ainoastaan heinä-elokuussa.



Kuva 2. Valvattia luomukaurapellossa. Kuva: Sari Iivonen.

Rikkakasvit reagoivat muita eliöryhmiä herkemmin luomun ja tavanomaisen tuotantotavan eroihin (Ekroos ym. 2010a, Tuck ym. 2014, Toivonen ym. 2022a). Rikkakasvien torjunta-aineiden käyttö tavanomaisessa viljelyssä on keskeisin tekijä tuotantotapojen väliseen eroon rikkakasvilajiston monimuotoisuudessa (Hyvönen & Salonen 2002).

Hyvönen (2007) vertasi 1990-luvun luomupeltojen rikkakasvillisuutta 1960-luvulla kartoitettuihin peltoihin, joilla ei ollut koskaan käytetty torjunta-aineita. Lajimäärien vertailu ei ollut mahdollista johtuen erilaisesta näytteenottomenetelmästä, mutta 40 lajin runsauksia ja esiintymistä voitiin vertailla. Lajeista 30 oli yleisempiä ja 20 lajia runsaampia 1990-luvun luomupelloilla kuin 1960-luvun pelloilla. Luomupelloilla tavattiin vähemmän alhaista typpitasoa suosivia sian- ja ojakärsämöitä sekä heinävaltaisia viljelykiertoja suosivia hierakoita. Typpilannoitustason on havaittu vaikuttavan vain vähän tai ei ollenkaan rikkakasvilajistoon tuotantotapojen vertailussa (Rydberg & Milberg 2000, Hyvönen & Salonen 2002, Hyvönen ym. 2003). Tämänkaltaiset muutokset rikkakasvilajistossa vaativatkin pitkän ajan johtuen muun muassa siementen säilymisestä maaperän siemenpankissa (Hyvönen & Salonen 2003).

3.1.2. Pölyttäjät

Marjaana Toivonen, Suomen ympäristökeskus

Pölyttäjät ovat tärkeitä paitsi luonnon monimuotoisuuden myös monien viljelykasvien pölytyksen kannalta. Suomessa hyönteispölytystä tarvitsevia tai siitä hyötyviä viljelykasveja ovat esimerkiksi rypsi, rapsi, kumina, härkäpapu, tattari, puna-apila (siementuotanto), omena, herukat, mansikka, vadelma ja avomaankurkku (Lehtonen 2012, Heliölä ym. 2022).

Viljelykasvien tärkeimpiä pölyttäjiä Suomessa ovat tarhamehiläiset sekä luonnonvaraisista pölyttäjästä kimalaiset, erakkomehiläiset ja kärpäset (Heliölä ym. 2021, 2022). Eri pölyttäjäryhmien ja -lajien suhteellinen merkitys vaihtelee kasvilajista, vuodesta ja olosuhteista riippuen. Vaikka pieni joukko yleisiä pölyttäjälajeja vastaa usein suurimmasta osasta viljelykasvien pölytystä (Kleijn ym. 2015), pölyttäjien monimuotoisuus tehostaa ja vakauttaa pölytystä (Dainese ym. 2019, Senapathi ym. 2021).



Kuva 3. Kukkakärpäset ovat monimuotoinen pölyttäjäryhmä. Helosurri (*Helophilus* sp.) kuminalla. Kuva: Marjaana Toivonen.

Luomutuotannon vaikutusta pölyttäjiin borealisella vyöhykkeellä on tutkittu vain vähän. Tutkimusten perusteella luomutuotannon vaikutukset pölyttäjiin ovat positiivisia tai neutraaleja (Aalto ym. 2004, Ekroos ym. 2008, Toivonen ym. 2022a).

Ekroos ym. (2008) vertasivat kimalaisten esiintymistä luomupeltojen ja tavanomaisten peltojen pientareilla. Kimalaisyksilöitä ja -lajeja havaittiin keskimäärin hiukan enemmän luomupeltojen pientareilla, ja ero tuotantotapojen välillä oli tilastollisesti lähes merkitsevä. Luomutuotannon vaikutuksia pientareiden kimalaisiin on tarkasteltu myös Aallon ym. (2004) vertaisarvioimattomassa tutkimusraportissa. Luomuviljapeltojen pientareilla havaittiin lähes kuusinkertainen määrä kimalaisyksilöitä verrattuna tavanomaisten viljapeltojen pientareisiin (Aalto ym. 2004). Eroa kimalaismäärissä selitti kimalaisten suosimien ravintokasvien runsaampi määrä luomupeltojen pientareilla (Aalto ym. 2004). Pelloilla luomutuotannon vaikutusta pölyttäjien

esiintymiseen ovat tutkineet Toivonen ym. (2022a). Kimalaisten laji- ja yksilömäärissä tai erakomehiläisten yksilömäärissä ei havaittu eroa luomuviljeltyjen ja tavanomaisesti viljeltyjen peltojen välillä (Toivonen ym. 2022a). Kukkakärpästen runsauteen tuotantotavan ja viljelykasvin yhdistelmä vaikutti merkittävästi, ja korkein kukkakärpästen määrä havaittiin luomuhärkäpapelipoimilla (Toivonen ym. 2022a).

Luomutuotanto voi lisätä pölyttäjien ravinnon määrää, monimuotoisuutta ja ajallista jatkuvuutta peltoilla kasvillisuuden monimuotoisuuden lisääntymisen kautta (Hyvönen & Salonen 2002, Carrié ym. 2018). Lisäksi luomutuotantoon kiinteästi kuuluva palkokasvien viljely hyödyttää pölyttäjiä: etenkin kimalaisten tiedetään suosivan monia palkokasveja ravinnonlähteenä (Teräs 1985, Goulson ym. 2005) ja esiintyvän runsaina esimerkiksi puna-apila- (Teräs 1976) ja härkäpapupeltoilla (Toivonen ym. 2022a). Puna-apila on erityisen tärkeä ravintokasvi pitkäkielisille kimalaislajeille, jotka ovat erikoistuneet keräämään ravintoa syväteriöisistä kukista (Teräs 1976, 1985, Dupont ym. 2011, Bommarco ym. 2012). Ruotsissa ja Tanskassa pitkäkielisten kimalaislajien on raportoitu taantuneen, ja yhtenä syynä kehitykseen pidetään puna-apilan viljelyn vähenemistä (Dupont ym. 2011, Bommarco ym. 2012).



Kuva 4. Tarhakimalainen (*Bombus hortorum*) ruokailemassa puna-apilalla. Kuva: Marjaana Toivonen.

Kasvinsuojeluaineiden käyttö tavanomaisessa viljelyssä voi vaikuttaa kielteisesti peltoilla ja niiden läheisyydessä liikkuviin pölyttäjiin, joskin aineiden käyttö on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa vähäisempää kuin etelämpänä Euroopassa (Eurostat 2016). Kasvinsuojeluaineista myrkyllisimpiä pölyttäjiille ovat hyönteisten torjuntaan käytetyt insektisidit. Kuitenkin myös kasvitautien ja rikkakasvien torjunnassa käytetyille kemikaaleille altistuminen voi heikentää pölyttäjien terveyttä (Pettis ym. 2013, Raimets ym. 2018, Battisti ym. 2021, Straw ym. 2021). Haittoja voivat aiheuttaa sekä kasvinsuojeluaineiden tehoaineet että apuaineet (Straw ym. 2021).

Suomessa Kaila ym. (2021) tutkivat insektisidijäämiä öljykasvi- ja kuminapeltojen vierellä sijainneiden tarhamehiläispesien siitepölyssä. Kun insektisidejä käytettiin pelloilla käyttöohjeiden mukaisesti, tarhamehiläiset altistuivat pitoisuuksille, jotka alittivat selvästi akuutin myrkyllisyyden rajan (Kaila ym. 2021). Luonnonvaraiset pölyttäjät saattavat kuitenkin olla tarhamehiläisiä herkempiä kasvinsuojeluaineiden vaikutuksille (Rundlöf ym. 2015). Lisäksi pienillekin kasvinsuojeluaineiden pitoisuuksille altistuminen voi heikentää pölyttäjien ravinnonkeruuta, lisääntymistä, vastustuskykyä ja yhdyskuntien kasvua (Gill ym. 2012, Stanley ym. 2016, Wood & Goulson 2017, Lämsä ym. 2018) heikentäen pölyttäjäpopulaatioita pidemmällä aikavälillä.

Toistaiseksi ei ole julkaistu tutkimuksia, jotka suoraan osoittaisivat kasvinsuojeluaineiden käytöllä olevan tällaisia ei-tappavia tai viiveellä ilmeneviä haittavaikutuksia pölyttäjiin borealisella vyöhykkeellä. Viitteitä tästä on kuitenkin havaittu. Hokkanen ym. (2017) raportoivat hyönteispölytteisen rypsin satotasojen laskusta Suomen intensiivisimmin viljellyillä alueilla 2000-luvulla, ja pitivät todennäköisenä selityksenä neonikotinoidien käytön yleistymistä rypsin siementen peittauksessa ja tämän aiheuttamaa pölytysvajetta. Toivonen ym. (2019) puolestaan havaitsivat suomalaisilla rypsipelloilla tehdyssä tutkimuksessa, että pölyttäjien määrä lisääntyi rypsin kukintakauden aikana erityisesti niiden peltöjen joukossa, joilla ei käytetty kasvinsuojeluaineita. Tulos saattaa selittyä rypsin tärkeimpien pölyttäjien, tarhamehiläisten ja kimalaisten, yhdyskuntien paremmalla kasvulla kasvinsuojeluaineettomien peltöjen läheisyydessä (Toivonen ym. 2019).



Kuva 5. Mantukimalainen (*Bombus lucorum*) kuuluu suomalaisten rypsipeltojen yleisimpiin pölyttäjiin. Kuva: Marjaana Toivonen.

Eteläisemmillä alueilla luomutuotannon vaikutusta pölyttäjiin on tutkittu runsaasti. Globaaleissa ja lauhkean vyöhykkeen synteetitutkimuksissa luomulla on todettu olevan positiivinen vaikutus pölyttäjiin (Kennedy ym. 2013, Tuck ym. 2014, Lichtenberg ym. 2017, Stein-Bachinger ym. 2021). Toisaalta luomutuotannon hyödyt pölyttäjille riippuvat maatalousmaan tyypistä (viljelymaa vs. pysyvä nurmi) ja ympäröivästä maisemasta (Kennedy ym. 2013, Scheper ym. 2013, Tuck ym. 2014). Borealisissa maatalousmaisemissa peltöjen osuus maankäytöstä on suhteellisen pieni, mikä todennäköisesti selittää tuotantotapojen välisten erojen vähäisyyttä (Rundlöf ym. 2008, Kennedy ym. 2013, Tuck ym. 2014). Toisaalta moniin muihin eliöryhmiin verrattuna

luomutuotannon vaikutus pölyttäjiin saattaa olla vähemmän riippuvainen ympäröivästä maisemasta (Tuck ym. 2014).

Tuotantotavasta riippumatta boreaalisten maatalousmaisemien pölyttäjät hyötyvät kasvillisuuden monimuotoisuudesta, kukkivien mesikasvien runsaasta määrästä ja kukkajakumosta (Bäckman & Tiainen 2002, Ekroos ym. 2008, Toivonen ym. 2022b, Heliölä ym. 2021). Myös pesäpaikkojen kuten lahopuun tai paljaiden kivennäismaalaikkujen puute voi rajoittaa joidenkin pölyttäjien määrää (Heliölä ym. 2021). Pölyttäjien erilaisista resurssitarpeista johtuen monimuotoinen maisema viljelemättömine ympäristöineen lisää pölyttäjien monimuotoisuutta myös pelloilla (Toivonen ym. 2019, 2022b, Toikkanen ym. 2022). Pölyttäjille tärkeitä elementtejä borealisessa viljelymaisemassa ovat avoimet niittymäiset elinympäristöt kuten niityt, luonnonlaitumet ja pientareet (Bäckman & Tiainen 2002, Ekroos ym. 2008, Paukkunen ym. 2019, Heliölä ym. 2021), kasvipeitteiset kesannot ja monimuotoisuuskaistat (Alanen ym. 2011, Kuussaari ym. 2011, Toivonen ym. 2015) ja metsänreunat (Korpela ym. 2015).

3.1.3. Päiväperhoset

Johan Ekroos, Helsingin yliopisto

Maatalousympäristöissä esiintyvät päiväperhoset ovat tyypillisesti sidoksissa ei-viljeltyihin maisemaelementteihin (Kivinen ym. 2006). Suomen maatalousmaisemissa erityisesti niitty laikut, metsän reunaympäristöt ja avoimet tai puoliavoimet pientareet suosivat päiväperhosia (Kuussaari ym. 2007). Viljellyillä pelloilla esiintyvät ja sieltä ravintoa etsivät päiväperhoset ovat yleensä hyvin liikkuvaisia ja elinympäristöjensä suhteen vaatimattomia lajeja (Börschig ym. 2013, Gámez-Virues ym. 2015). Yksipuolisissa peltovaltaisissa maisemissa päiväperhoslajistoa luonnehtiikin juuri näiden liikkuvaisten generalistilajien korkea osuus (Ekroos ym. 2010b, Jonsson ym. 2012).



Kuva 6. Lanttuperhonen (*Pieris napi*) rypsillä. Kuva: Marjaana Toivonen.

Suomessa luomutuotannon vaikutusta päiväperhosiin on tutkittu kahdessa työssä. Ekroos ym. (2008) vertailivat luomutilojen ja tavanomaisten tilojen pientareilla esiintyviä

päiväperhoslajistoja, ja Toivonen ym. (2022) puolestaan tutkivat pelloilla esiintyvien päiväperhosten monimuotoisuutta. Kummassakaan tutkimuksessa ei havaittu eroja luomutilojen ja tavanomaisten tilojen välillä. Kimalaisiin verrattuna päiväperhosten on esim. Ruotsissa havaittu reagoivan heikommin luomutuotantoon (Rundlöf & Smith 2006, Rundlöf 2007, Carrié ym. 2018), mahdollisesti koska päiväperhoset ovat voimakkaammin sidoksissa maatalousmaiemien ei-viljeltyihin osiin (Weibull ym. 2003). Päiväperhoset eivät myöskään reagoi mesikasvien paikalliseen runsauteen viljellyillä pelloilla yhtä voimakkaasti kuin kimalaiset (Carrié ym. 2018).

Koska päiväperhoset ovat voimakkaasti sidoksissa maisemarakenteen muutoksiin, myös luomutuotannon vaikutukset päiväperhosiin riippuvat maiseman rakenteesta. Suomalaiset tutkimukset on tehty mosaiikkimaisissa maatalousmaiemissa, mikä on saattanut peittää alleen mahdolliset luomutuotannon hyödyt päiväperhosille (vrt. Jonason ym. 2012). Tästä syystä suomalaistutkimukset eivät välttämättä ole pystyneet osoittamaan luomutuotannon täyttä potentiaalia päiväperhosten lajimonimuotoisuuden kannalta. Esimerkiksi Etelä-Ruotsissa tehtyjen tutkimusten perusteella päiväperhosten lajimäärä oli korkeampi luomutiloilla vain hyvin maatalousvaltaisissa maieimissa, mutta tuotantotapojen välillä ei ollut havaittavissa eroja maieimissa, joissa peltojen osuus oli alle 20 % (Rundlöf & Smith 2006).

Myös luomutuotannon laajuudella on merkitystä: päiväperhosten lajimäärä on havaittu korkeammaksi tavanomaisilla tiloilla, joiden ympäröivä maisema on lähes kokonaisuudessaan luomutuotannon piirissä (Rundlöf ym. 2008). Vastaavasti yksittäisille luomutiloille voi kertyä enemmän perhosyksilöitä maieimissa, jotka ovat muilta osin tavanomaisen tuotannon piirissä (Rundlöf ym. 2008).



Kuva 7. Piippopaksupää (*Ochlodes sylvanus*) on Suomessa yleisesti esiintyvä perhoslaji, jota tavataan niityillä ja kedoilla. Kuva: Marjaana Toivonen.

Suomessa pitkäaikaiset kesannot ovat tärkeimpiä elinympäristöjä päiväperhosille maatalousalueilla, joissa ei ole laidunnettuja niittyjä (Toivonen ym. 2022). Ruotsissa pitkään luomutuotannossa olleiden tilojen viljapelloilla ja viereisillä pientareilla havaittiin korkeampi päiväperhosten yksilömäärä, mutta ei lajimäärää (Jonason ym. 2011). Näin ollen luomutuotannon jatkuessa pidemmän aikaa osalle päiväperhoslajeista syntyy ajan myötä enemmän resursseja, mutta samankaltaista lajimäärää kasvattavaa sukkessiota kuin pitkäaikaisilla kesannoilla ei luomussa pääse tutkimuksen mukaan syntymään (Jonason ym. 2011).

3.1.4. Petoniveljalkaiset

Ari Järvinen, Luonnonvarakeskus

Luonnonvaraiset petoniveljalkaiset käyttävät ravintonaan peltoviljelmien tuhohyönteisiä ja tuottavat merkittävän osan niiden biologisesta torjunnasta. Pohjois-Euroopan viljelmillä runsaslukuisimpia petoniveljalkaisten ryhmiä ovat maakiitäjaiset, hämähäkit ja lyhytsiipiset. Paikallisesti myös muurahaisilla, leppäpirkoilla tai luteilla voi olla suuri merkitys. Luonnonmukaisessa tuotannossa biologisen torjunnan merkitys tuholaisten hallinnassa korostuu, koska kemialliset menetelmät eivät ole käytettävissä.

Suomen maatalousympäristössä esiintyvät petoniveljalkaislajit ja niiden elintavat tunnetaan hyvin. Kasvinsuojelukemikaalit ja maan muokkaaminen lisäävät merkittävästi niveljalkaisten kuolleisuutta (esim. Legrand ym. 2011), joten valtaosa lajeista talvehtii menestyksekkäästi vain viljelmien ulkopuolella. Erityisesti alkukesästä saalistajien runsauteen vaikuttaa niille sopivien talvehtimispaikkojen saatavuus (Jacobsen 2022) ja kasvukauden aikana viljelmälle saapuvien saalistajien elinkierrot limittyvät toisiaan täydentävästi. Lisäksi saalistajien ravinnonkäyttö muovautuu niiden fyysisen koon, elinkierron, kilpailun sekä eri ravintokohteiden saatavuuden mukaan. Monimuotoinen saalistajayhteisö on siksi ajallisesti ja toiminnallisesti laaja-alaisempi kuin muutamien lajin dominoima, köyhtynyt saalistajien joukko. Monimuotoinen eliöyhteisö myös palautuu häiriöistä köyhtynyttä nopeammin. Peltolohkojen pieni koko ja maatalousympäristön monimuotoisuus tukevat biologista torjuntaa laaja-alaisesti (Haan ym. 2020).



Kuva 8. Karvakiitäjäinen (*Harpalus rufipes*) voi käyttää ravinnokseen myös rikkakasvien siemeniä. Kuva: Sari Himanen

Luonnonmukaisen tuotannon vaikutuksia petoniveljalkaisiin on tutkittu Suomessa hyvin vähän, eikä niiden lajikirjossa tai yksilömäärässä ole havaittu eroja tuotantotapojen välillä (Ekroos ym. 2010a, Toivonen ym. 2022a). Maataloustuotannon monipuolisuus kuitenkin tukee saalistajia paikallisesti (Ekroos ym. 2010a). Kansainvälisesti tutkimuksia on tehty laajasti eri satokasveilla, viljelymenetelmillä sekä ilmastoalueilla, ja näistä saadun tiedon perusteella luonnonmukainen tuotanto lisää saalistajien yksilömäärää, lajikirjoa ja monimuotoisuutta, sekä parantaa biologisen torjunnan edellytyksiä tavanomaiseen tuotantotapaan verrattuna (esim. Pfiffner & Niggli 1996, Lichtenberg ym. 2017). Pohjois-Euroopan ilmasto-olosuhteita vastaavia tutkimusasetelmia on raportoitu myös Pohjois-Amerikasta, jossa niveljalkaislajisto ja viljelymenetelmät kuitenkin poikkeavat täkäläisistä, mikä tekee tulosten yleistämisestä hankalaa (Puech ym. 2014). Tuloksissa on muutenkin suurta vaihtelua eri niveljalkaisryhmien ja tutkimusalueiden välillä (Bengtsson ym. 2005).

Petoniveljalkaisia käsittelevät eurooppalaiset tutkimukset, joissa vertaillaan luonnonmukaisen ja tavanomaisen tuotannon vaikutuksia, painottuvat voimakkaasti mantereen keski- ja eteläosiin. Eniten tutkittu satokasvi on vehnä. Pohjois-Euroopan tutkimuksissa petoniveljalkaiset ovat usein sivuroolissa, osana laajempaa monimuotoisuusvaikutusten arviointia (esim. Rööös ym. 2018), vaikka yksittäisiä petoniveljalkaisia käsitteleviä tutkimuksiakin löytyy (Ekroos ym. 2010a, Birkhofer ym. 2014, Toivonen ym. 2022a).

Suomessa maatalousympäristö on monimuotoista, mikä osaltaan tukee petoniveljalkaisten menestystä tuotantomuodosta riippumatta (Galloway ym. 2021). Luomutuotannon hyödyt petoniveljalkaisten lajikirjolle ja runsaudelle korostuvat maatalousvaltaisessa maisemassa (Bengtsson ym. 2005) ja tästä syystä vaikutukset näkyvät Suomessa heikosti. Lajistollisesti tutkimus keskittyy vertailemaan yleisimpiä lajeja ja lajiryhmiä, sekä erilaisia indikaattoreita. Vähälukuisten sekä vaikeasti tunnistettavien tai havainnoitavien lajien merkitys biologisessa torjunnassa tunnetaan kaikkialla heikosti.

Luomutuotannon kokonaisvaikutus petoniveljalkaisten yksilömääriin (Kromp 1999) ja monimuotoisuuteen (Crowder 2010) näyttää positiiviselta. Käytännössä petoniveljalkaiset hyötyvät esimerkiksi luomutuotannon monipuolisesta viljelykierrosta, maaperän orgaanisen aineksen runsaudesta, alemmasta kemiallisesta rasituksesta, sekä oheiskasvien monipuolistumisesta (Gomiero ym. 2011). Vastaavasti torjunta-aineet sekä rikkakasvien mekaaninen torjunta vahingoittavat petoniveljalkaisia tuotantotavasta riippumatta, myös luomutuotantoon soveltuvia menetelmiä käytettäessä (Biondi ym. 2012). Luomutuotanto tukee biologista torjuntaa varmimmin maisemakvaltaan vaihtelevissa ympäristöissä (Diekötter ym. 2010, Winqvist ym. 2011), sillä petoniveljalkaisten runsaus on tiukasti kytköksissä myös ympäristön häiriöisyyteen, täydentävän ravinnon saatavuuteen ja suojapaikkoihin (Purtauf ym. 2005, Galloway ym. 2021). Luonnonmukainen tuotanto lisäksi vakauttaa luontaista biologista torjuntaa ilmaston lämmetessä (Murrell & Barton 2017).

Petoniveljalkaisten lajikirjoon ja runsauteen kohdistuva positiivinen vaikutus hyödyttää myös lähialueen viljelmiä riippumatta tuotantotavasta. Tavanomaisen tuotannon hallitsemassa maisemassa on kuitenkin riskinä, että torjunta-aineiden käyttö romahduttaa saalistajien kannat ja luonnonmukaisesti hoidetulle alalle tiensä löytävät ensiksi tuholaiset (Bianchi ym. 2013). Luomutuotantoon kohdistuvan riskin pienentämiseksi ja ekosysteemipalveluiden elinvoimaisuuden turvaamiseksi tarvittaisiinkin siksi tehokkaampia työkaluja myös maisematason monimuotoisuustoimien suunnitteluun ja koordinointiin (Tschardt ym. 2021). Petolajiston monimuotoisuuden ylläpitäminen ja paikallisen biologisen torjunnan varmistaminen edellyttää kokonaisvaltaista käsitystä lajien, maatalouden ja ympäristön vuorovaikutuksista alueella. Monien lajiryhmien osalta tällainen tieto on hataraa tai puuttuu kokonaan.



Kuva 9. Maakiitäjäisiä tunnetaan Suomessakin useita lajeja. Kuva: Vesa Koivu.

Luontaisen biologisen torjunnan osalta heikoimmin tunnetaan peto-saalissuhteen dynamiikka, sillä lähes kaikki tutkimukset perustuvat petojen ja saalislajien lukumääriin ilman todellista näyttöä niiden vuorovaikutuksesta. Yleisimmin havainnot saalistajien ravinnonkäytöstä perustuvat laboratorionkokeisiin. Petoniveljalkaisten ravinnonkäytön havainnointi kenttäolosuhteissa on työlästä, koska saalistus ei jätä näkyviä jälkiä ja monet lajit ovat yöaktiivisia. Eräät yleisimmistä maakiitäjäislajeista täydentävät ruokavaliotaan rikkakasvien siemenillä, ja niiden runsaus voisi siten edistää myös rikkakasvien hallintaa, mutta tämän vaikutusta ei liene Suomessa tutkittu.

Luomutuotannon vaikutuksia eri petolajien ravinnonkäyttöön voitaisiin tulevaisuudessa tutkia esimerkiksi DNA-viivakoodauksen (eng. *DNA-metabarcoding*) tai isotooppitutkimusten avulla (Birkhofer ym. 2011, Hsu ym. 2021). Tällainen tieto auttaisi esimerkiksi kehittämään luontaista biologista torjuntaa vahvistavia tuotantomenetelmiä, rajoittamaan tuholaisista koituvaa riskiä luomuviljelijälle, sekä kohdennetusti tukemaan luonnonmukaista tuotantoa lajistollisesti arvokaimmissa kohteissa.

Yksittäisistä hyönteisryhmistä tehtyjen havaintojen perusteella voidaan päätellä, että ainakin viljelytoimet ja niiden ajoitus, sekä alueelliset erot, vaikuttavat valikoivasti petoniveljalkaisten monimuotoisuuteen ja runsauteen. Yksittäisen lajin paikallinen runsastuminen tai katoaminen voi merkittävästi vaikuttaa biologiseen torjuntaan, ja siksi tarkemmalla tiedolla pystyttäisiin mallintamaan petolajistossa tapahtuvat muutokset luotettavammin sekä ennakoimaan seuraukset tietyn tuholaisen torjunnassa tarkemmin. Yksityiskohtaisemman tiedon perusteella voitaisiin lisäksi määritellä täydentäviä, tarkasti kohdennettuja ympäristötoimenpiteitä, joilla petolajistoa voitaisiin tukea esimerkiksi talvikuoilleisuutta vähentävästi ja paikallista biologista torjuntaa vahvistavasti. Näin voitaisiin osaltaan varautua myös ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin haasteisiin biologisessa torjunnassa.

3.1.5. Linnut

Johan Ekroos, Helsingin yliopisto

Yleisesti ottaen luomutuotannon vaikutuksia lintujen monimuotoisuuteen on tutkittu vähemmän kuin vaikutuksia niveljalkaisiin ja kasveihin (Tuck ym. 2014), ja varsinkin boreaaliselta vyöhykkeeltä tutkimuksia on niukasti. Maatalousympäristön linnut voidaan jaotella varsinaisiin avomaalajeihin, jotka pesivät joko pelloilla tai avoimilla pientareilla, tai reunalajeihin, jotka puolestaan pesivät pensaikkosilla pientareilla, metsänreunoissa tai -saarekkeissa sekä piha-alueilla, mutta ruokailevat suurilta osin peltoympäristöissä (Tiainen & Pakkala 2000, Tiainen ym. 2004). Avomaalajien voidaan olettaa reagoivan maankäyttöön voimakkaammin kuin reunalajien, joihin maankäytön muutokset vaikuttanevat lähinnä epäsuoraan ravinnon saatavuuden muutosten kautta (Tiainen ym. 2004). Pesimäaikaan maatalousympäristön linnut ovat riippuvaisia pesäpaikan lähistöltä löytyvistä, esimerkiksi ravintoon, suojapaikkoihin tai pesintään tarvittavista, täydentävistä resursseista (Smith ym. 2014).



Kuva 10. Avoimessa peltomaisemassa pesivä ja ruokaileva peltosirkku (*Emberiza hortulana*) on maatalousympäristömme äärimmäisen uhanalainen lintulaji. Kuva: Risto Puranen.

Kansainvälisen meta-analyysin perusteella linnut hyötyvät luomutuotannosta, mutta eivät yhtä selkeästi kuin niveljalkaiset (Tuck ym. 2014). Suomessa on selvitetty luomutuotannon vaikutuksia lintuihin kahdessa tutkimuksessa. Piha ym. (2007) tarkastelivat pesivien avomaalajien lajiversiteettiä, lajimäärää ja kokonaisyksilömäärää, sekä lajikohtaisia yksilömääriä, käyttäen hyväksi yksityiskohtaisia reviirikartoitukseen perustuvia aineistoja Itä-Uudeltamaalta. Kiurun ja töyhtöhyyppän yksilömäärät olivat tässä tutkimuksessa merkitsevästi korkeammat luomutiloilla, mutta peltolinnuston kokonaisyksilömäärät tai diversiteetti eivät eronneet.

Santangeli ym. (2019) puolestaan käyttivät maanlaajuisia lintujen linjalaskenta-aineistoja siten, että noin 25 km etäisyydellä toisistaan sijoittuvilta laskentalinjoilta havaittujen maatalousympäristössä pesivien lintulajien kokonaisyksilömääriä verrattiin luomutilojen suhteelliseen pinta-

alaan. Tutkimuksessa havaittiin luomueläintilojen merkittävästi lisäävän peltolinnuston kokonaisuusilömääriä verrattuna sekä tavanomaisiin tiloihin (riippumatta tuotantosuunnasta) että luomuviljailoihin. Luomueläintiloilla laidunnus on tavanomaisista eläintiloista poiketen pakollista, mikä osaltaan riittäisi selittämään, miksi monet hyönteissyöjälinnut hyötyivät luomueläintiloista (Santangeli ym. 2019). Erityisesti pihapiirissä pesivät lintulajit, kaukomuuttajat sekä hyönteissyöjät hyötyivät luomueläintiloista.



Kuva 11. Luomukotieläintiloilla lehmät laiduntavat päivittäin laidunkaudella. Kuva: Brita Suokas.

Vaikka kahden suomalaistutkimuksen vertailua vaikeuttavat erilaiset otantamenetelmät, yhdessä tutkimukset viittaavat siihen, että runsaslukuisten pelloilla pesivien lintulajien (kiuru ja töyhtöhyyppä) reviirimäärät ovat korkeampia luomutiloilla, sekä siihen, että laajemmilla mitta-kaavoilla erityisesti monet liikkuvaiset pihapiirin lintulajit (kuten haarapääsky, räystäspääsky, kottarainen ja pikkuarvunen) hyötyvät luomueläintiloista, luultavasti koska näillä tiloilla on enemmän hyönteisravintoa tarjolla verrattuna sekä luomuviljailoihin että tavanomaisiin tiloihin. Pohjois- ja keskieurooppalaisiin tutkimuksiin perustunut yhteenvetotutkimus osoitti myös kyyhkyjen ja varislintujen lajirikkauden olevan luomutiloilla tavanomaisia tiloja korkeampi (Birkhofer ym. 2014).

Tuloksia tulkittaessa on syytä pitää mielessä, että luomutuotannon vaikutukset linnustoon riippuvat myös ympäröivän maiseman rakenteesta. Maiseman rakenne vaikuttaa peltolintujen lajimonimuotoisuuteen usein voimakkaammin kuin peltomaan maankäyttö (Piha ym. 2007, Hiron ym. 2015, Ekroos ym. 2019). Lähimaissa tehtyjen tutkimusten perusteella luomutuotannolla on suurempi potentiaali lisätä erityisesti varsinaisten peltolajien monimuotoisuutta niin maisemiltaan avoimemmilla peltovaltaisilla kuin metsäisillä alueilla (Hiron ym. 2013, Josefsson ym. 2017). Ruotsin peltovaltaisissa maisemissa erityisesti hyönteisiä syövien pikkulintujen lajimäärä on todettu korkeammaksi luomutiloilla verrattuna tavanomaisiin tiloihin (Smith ym. 2010). Hyvin metsävaltaisissa maisemissa on jopa havaittu luomutuotannon vähentävän lintujen monimuotoisuutta tavanomaiseen tuotantoon verrattuna, mahdollisesti koska tutkituilla metsävaltaisilla alueilla viljeltiin lähes yksinomaan rehunurmia, jotka yksipuolistivat viljeltyä pinta-alaa (Hiron ym. 2013).

Suomessa luomutuotannon mahdollisia maiseman rakenteesta riippuvia vaikutuksia lintuihin ei ole selvitetty. Myöskään luomutilojen tilakoon merkitystä lintujen monimuotoisuudelle ei olla suomalaisissa olosuhteissa tutkittu. Aiempien suomalaistutkimusten perusteella avomaalla pesivien lintujen reviirimäärät kasvavat kesantojen koon kasvaessa (Herzon ym. 2011), mutta vastaavaa vertailua luomutilojen ja tavanomaisten tilojen välillä ei ole tehty.

3.2. Maaperän eliöstö

Maaperäeliöt vaikuttavat maaperän toiminnallisuuteen: ne pilkkovat orgaanista aineista, muuntavat ravinteita kasveille käyttökelpoiseen muotoon, stimuloivat mikrobiaktiivisuutta, parantavat maan rakennetta ja edistävät kestävien partikkelien muodostumista sekä vaikuttavat veden liikkeisiin (Bardgett & van der Putten 2014). Kaikki nämä ekosysteemipalvelut ovat yhteydessä tehokkaaseen kasvintuotantoon. Eliöryhmistä bakteerit ja sienet (mikrobit) ovat pääosin vastuussa orgaanisen aineksen hajottamisesta ja ravinteiden kierrosta. Ravintoverkon monille tasoille kuuluvat maaperäeläimet kuten sukkulamadot, mikroniveljalkaiset, änkyrimadot ja lierot taas säätelevät kyseisten prosessien nopeutta (Woods ym. 1982, Sulkava ym. 1996). Luomuviljelyssä maaperäeliöstön toiminnan tärkeys korostuu. Orgaanisia lannoitteita käytettäessä kasvien ravinteiden saanti on suureksi osaksi riippuvainen maaperän mikrobiston ja eläinten aktiivisuudesta.

Tietolaatikko 2

Maaperän eliöstön tarjoamat ekosysteemipalvelut:

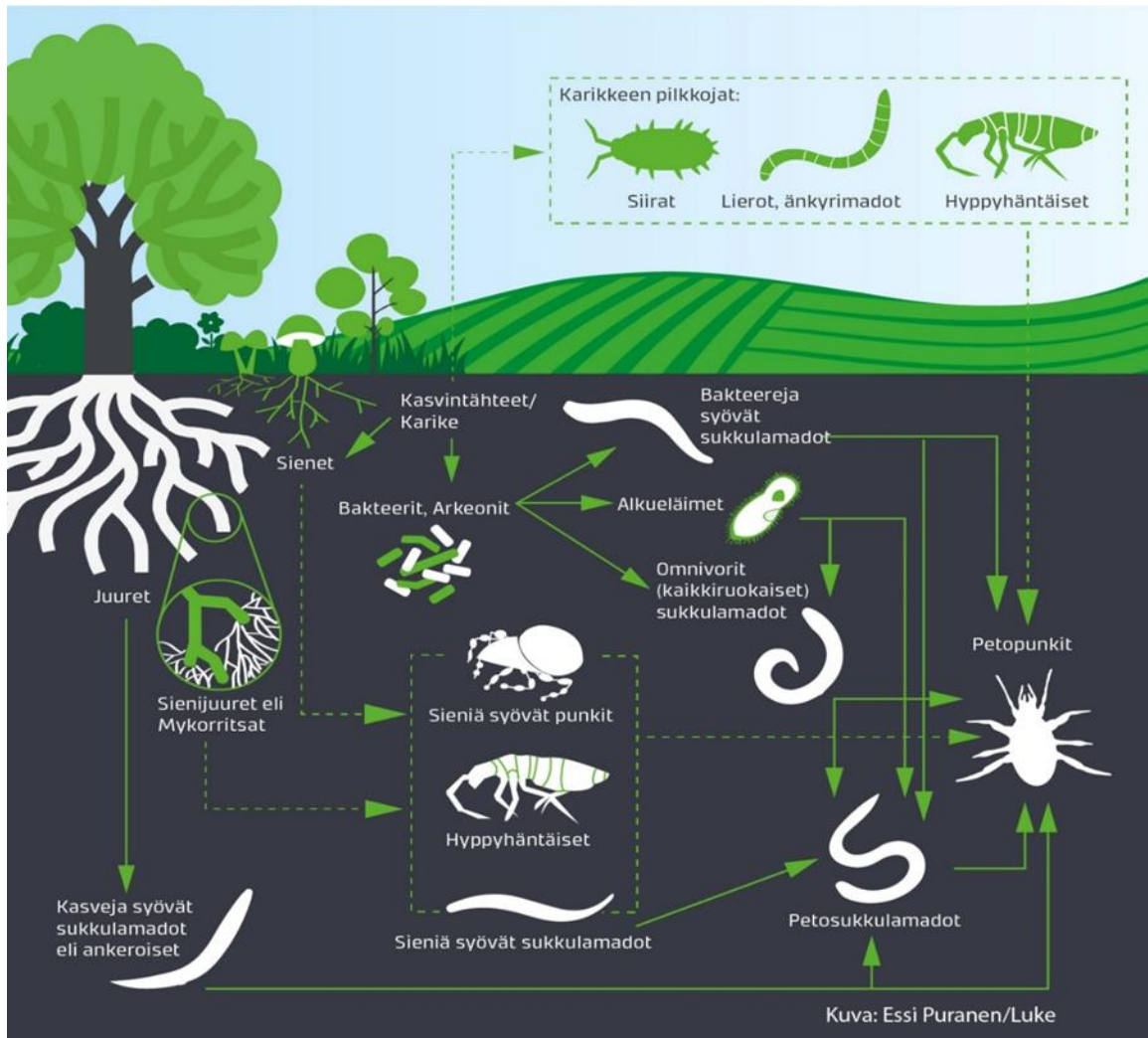
I) Orgaanisen aineksen hajottaminen: Hiilen mineralisaatiosta 90 % tapahtuu mikro-organismien, kuten bakteerien ja sienien toimesta.

II) Ravinteiden kierto liittyy läheisesti orgaanisen aineksen hajoamiseen, jossa mikro-organismit ovat pääosassa, mutta prosessien nopeuteen vaikuttavat suuresti maaperäeläimet, kuten alkueläimet ja sukkulamadot. Isokokoisemmat maaperäeläimet kuten lierot tehostavat prosessia pilkkomalla kariketta ja luomalla suotuisia olosuhteita esim. suolistossaan.

III) Maan rakenteen muodostaminen ja ylläpito

- Huokosrakenne: Kasvien juuret, lierot ja muu maaperän mikrofauna luovat biohuokosia, jotka vaikuttavat kaasujen ja veden kulkeutumiseen maaperässä.
- Biomuokkaus: Erityisesti lierot kuljettavat kariketta maan pinnalta syvempiin maakerroksiin.
- Pintamaan murujen (aggregaatit) kestävyys: Rihmamaiset mikrosienet kietovat pieniä maamuruja yhteen ja mikrobit kuten sienijuurisienet erittävät glykoproteiineja, jotka "liimaavat" pienempiä muruja yhteen.

IV) Kasvitautilien ja tuholaisten torjunta: Hyötymikrobit voivat suoraan parantaa kasvien puolustuskykyä ja vaikuttaa maaperälevintäisten tautien ja tuholaisten kuten ankerosten torjuntaan. Lierot nopeuttavat kasvintähteissä säilyvien tautien tuhoutumista.



Kuva 12. Maaperä kuhisee elämää. Maaperäeliöstön toiminta vaikuttaa pellon kasvukuntoon.

3.2.1. Maaperän mikrobisto

Ansa Palojärvi, Luonnonvarakeskus

Maaperän mikrobisto koostuu yksisoluisista bakteereista ja arkeoneista sekä rihmamaisesti kasvavista mikrosienistä. Usein käytetään termiä "maaperän mikrobiomi". Mikrobiomi tarkoittaa tietyn elinympäristön koko mikrobiyhteisöä ja niiden genomia. Suomessa ja muualla boreaalisella alueella on tehty vain vähän tutkimuksia luomutuotannon vaikutuksista maaperän mikrobiomin runsauteen tai monimuotoisuuteen.

Palojärvi ym. (2002) julkaisivat MTT:n raporttisarjassa (vertaisarvioimaton julkaisu) tuloksia mikrobiston runsaudesta sekä toiminnallisesta ja rakenteellisesta monimuotoisuudesta eteläisen Suomen kymmenellä tilaparilla, joissa luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti viljellyt, maalajillaan samanlaiset vilja- tai nurmilohkot sijaitsivat vierekkäin. Eroja maaperän mikrobistossa viljelymenetelmien välillä ei havaittu kaikilla mittareilla tai mittauskerroilla, mutta jos eroja havaittiin, olivat ne luonnonmukaisen viljelyn eduksi. Luomutuotanto nosti mikrobiston runsautta (mikrobibiomassin sisältämä typpi; Nmic) tilastollisesti merkitsevästi keväisin. Mikrobiston toiminnallinen ja rakenteellinen monimuotoisuus, analyysimenetelminä eri substrattien käyttökkyä kuvaava Biolog-kuoppatesti ja solukalvojen fosfolipidirasvahappo (PLFA) -analyysi tai biomassan sieni/bakteeri -suhde eivät eronneet selkeästi viljelymenetelmien välillä.

Luonnonvarakeskuksen vuonna 1997 perustetulla Toholammin huuhtoutumiskentällä Keski-Pohjanmaalla tutkittiin sekä luonnonmukaisten että tavanomaisten kasvintuotanto- ja kotieläintilojen viljelykiertojen vaikutuksia maaperän mikrobiomiin (Peltoniemi ym. 2021). Luomun ja tavanomaisen viljelyn kierrot erosivat jonkin verran toisistaan karjanlannan käyttömäärän ja kasvivalikoiman suhteen, sillä molempien tuotantojärjestelmien kierrot optimoitiin ja koejärjestyksessä otettiin huomioon luomutuotantosäännöt.

Mikrobibiomassan määrä (Cmic, Nmic) oli yleisesti korkeampi kotieläintilan kierroissa kuin kasvintuotantotilan kierroissa. Kasvintuotantotilan luomuviljelykierrossa mikrobisto oli runsaampi vastaavaan tavanomaiseen verrattuna. Syksyllä otetuissa maaperänäytteissä luomussa oli korkeampi mikrobimonimuotoisuus. Sienet runsastuivat syksyllä ja mahdollisesti vaikuttivat sekä korkeampaan mikrobiaktiivisuuteen että mikrobibiomassan määrään. Satokasvi ja karjanlannan käyttö selittivät muutoksia sieniyhteisön koostumuksessa. Lisää tutkimusta tarvitaan, jotta löydettäisiin paras tapa ylläpitää sienten monimuotoisuutta maaperässä ottaen huomioon sienten toiminnot ja ekosysteemipalvelut, mukaan lukien tautien torjunta ja bioremediaatio. Bioremediaatiolla tarkoitetaan mikrobien hyödyntämistä saastuneen maaperän puhdistamisessa. Yksittäisten sienilajien listaamisen ohella laajempi verkostanalyysi antaisi tietoa sienten ja koko mikrobiomin toiminnasta ja vuorovaikutuksesta eri organismien välillä (Frąc ym. 2018).

Boreaalisen alueen ulkopuolella tehdyissä tutkimuksissa on luomuviljelymenetelmillä todettu olevan paljon potentiaalia edistää maaperän biologista monimuotoisuutta. Luomuviljelyssä hiilen kertymistä edistäviä ja mikrobien monimuotoisuutta lisääviä toimenpiteitä ovat orgaanisten lannoitteiden ja aluskasvien käyttö (Fliessbach ym. 2007). Useat tulokset viittaavat siihen, että maatalouden viljelytoimenpiteet, jotka edistävät hiilen kertymistä maahan, lisäävät maaperän eliöiden - erityisesti mikrobiyhteisön - biologista monimuotoisuutta (de Graaff ym. 2019). Tämä hyödyttää suoraan myös maaperäekosysteemin toimintaa. Lisäksi monivuotisten nurmien viljely luomutuotannossa vähentää maan muokkausta ja voi johtaa lisääntyneeseen hiilensidontaan (Six ym. 2002) ja mikrobien monimuotoisuuteen (mm. Lori ym. 2017). Luomuviljelyssä ei käytetä synteettisiä kasvinsuojeluaineita, mikä voi vaikuttaa myönteisesti maaperän mikrobiologiseen monimuotoisuuteen (Baxter & Cummings 2008; Fernandez-Gomez ym. 2011). Kasvinsuojeluaineiden vaikutukset maaperän yhteisöihin tunnetaan kuitenkin varsin huonosti, ja aihe vaatii lisätutkimusta (Imfeld & Vuilleumier 2012).



Kuva 13. Monivuotiset apilanurmet ruokkivat maaperäeliöstöä ja lisäävät peltomaan multavuutta. Kuva: Risto Musta.

Kaikissa tutkimuksissa ei eroja maaperän mikrobiyhteisöjen monimuotoisuudessa luomu- ja tavanomaisten viljelykäytäntöjen välillä ole havaittu (esim. Reganold & Wachter 2016). Hiljattain tehdyissä meta-analyseissa on saatu osin ristiriitaista tietoa luomuviljelyn vaikutuksesta maaperän biologiseen monimuotoisuuteen (de Graaff ym. 2019, Christel ym. 2021). Haasteena luomuviljelyn vaikutusten erottamisessa meta-analyysissä on, että tuotantotapoihin liittyvät toimenpiteet erosivat suuresti kokeiden välillä. Yleensä tavanomaista ja luonnonmukaista

viljelyjärjestelmää erotti useampi kuin yksi seuraavista tekijöistä: lannoituskäytännöt, muokausintensiteetti, rikkakasvien torjunta-aineiden käyttö ja viljelykasvilajit tai genotyyppi.

Luomuviljelyn vaikutus maaperän biologiseen monimuotoisuuteen riippuu todennäköisesti suuresti käytetyistä yksittäisistä toimenpiteistä, joiden perusteella järjestelmät eroavat. Monissa tavanomaisen viljelyn järjestelmissä viljelijät harjoittavat kestävää maanhoitoa, kuten muokkauksen vähentämistä sekä aluskasvien ja orgaanisten lannoitteiden käyttöä. Ne ovat keinoja kasvattaa peltomaan hiilipitoisuutta ja biologista monimuotoisuutta, joten erot maaperän biologisessa monimuotoisuudessa luonnonmukaisen ja tavanomaisen maatalouden välillä voivat jäädä joissain tapauksissa merkityksettömiksi.

Meta-analyysin perusteella luomutuotannolla on vähemmän vaikutusta maaperän hajottajien kuin useimpien muiden toiminnallisten eliöryhmien monimuotoisuuteen. Analyysissä useimmat toiminnalliset ryhmät (kasvinsyöjät, pölyttäjät, petoeläimet ja tuottajat) olivat luonnonmukaisessa maataloudessa monimuotoisempia kuin tavanomaisessa viljelyssä maaperän eliöstöstä koostuvia hajottajia lukuun ottamatta (Tuck ym. 2014). Tämä voi johtua myös siitä, että maalaji ja maan rakenteen vaihtelu ovat tärkeämpiä maaperän eliöille kuin viljelyjärjestelmä. Mekanismit, joilla luomuviljely vaikuttaa maaperän ominaisuuksiin ja biologiseen monimuotoisuuteen, vaativat lisätutkimuksia. Vaikka viljelyjärjestelmien luokittelu tavanomaiseksi tai luonnonmukaiseksi tarjoaa yksinkertaisen mittarin kuluttajien ostopäätöksille, se voi olla liian kärkeä, jotta se auttaisi arvioimaan viljelyn vaikutusta maaperän biologiseen monimuotoisuuteen (de Graaff ym. 2019).

3.2.2. Maaperäeläimet

Marleena Hagner, Luonnonvarakeskus

Maaperäeläimet voidaan jakaa karkeasti mikrofaunaan (alle 0,1 mm), jonka edustajia ovat alkueliöt ja sukkulamadot, mesofaunaan (0,1–2 mm), johon kuuluvat esimerkiksi hyppyhäntäiset, sammal- ja petopunkit sekä makrofaunaan (yli 2 mm), joka sisältään näitä suuremmat eläimet kuten änkyrimadot ja lierot. Eri maaperäeläinryhmien herkkyys ympäristön muutoksille vaihtelee (Christel ym. 2021). Esimerkiksi kyntämisen tiedetään olevan erityisen haitallista lieroille ja sammalpunkeille, kun taas sukkulamadot kestävät melko hyvin fysikaalisia häiriöitä.

Intensiivinen maankäyttö sisältäen toistuvan maan muokkauksen, synteettiset lannoitteet ja kasvinsuojeluaineet sekä yksipuolisen kasvilajiston, johtaa usein maaperäeläinyhteisön köyhtymiseen. Tällöin yhteisö koostuu niukasta määrästä toiminnallisia ryhmiä, ja esiintyvät lajit ovat taksonomisesti lähellä toisiaan (Tsiafouli ym. 2015). Yhteys maaperäeläinten diversiteetin ja maan toiminnan välillä ei aina ole suoraviivainen (Briones 2014). Yleisesti ottaen runsas maaperäeläinten määrä ja diversiteetti kuitenkin edesauttaa maan hyvinvointia ja tuottavuutta.

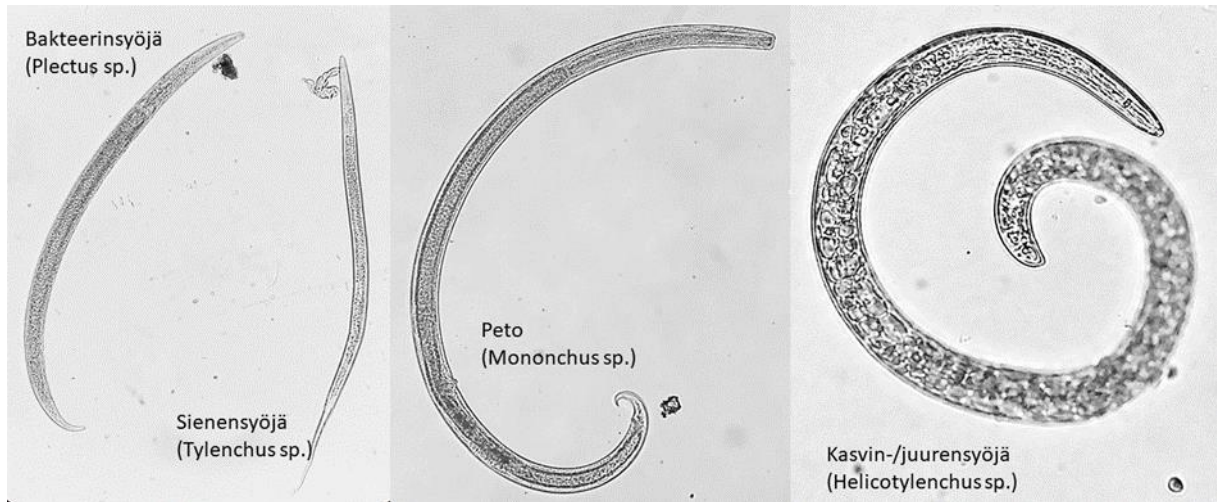


Kuva 14. Maanmuokkaustoimet vaikuttavat maaperäeliöstöön. Kuva: Risto Musta.

Pohjoisissa oloissa tehtyjä tutkimuksia eri tuotantotapojen ja viljelymenetelmien vaikutuksista maaperäeliöiden määrään ja yhteisöstruktuuriin löytyy niukasti. Laajin Suomessa toteutettu tutkimus on Palojärven ym. (2002) vertaisarvioimaton raportti, jossa vertailtiin luomu- ja tavanomaisesti viljeltyjä peltopareja. Keskimäärin sukkulamatojen (erityisesti kasvinsyöjien ja kaikkiruokaisten) määrä ja biomassa oli suurempi luomu- kuin tavanomaisesti viljellyillä peltoaloilla, mikä voi heijastaa maan alle päätyvän kasvibiomassan määrää, mutta myös hoitotoimenpiteiden intensiteettiä. Hyppyhäntäisten ja punkkien määrät ja alalahkot/lajit vaihtelivat paljon peltoparien välillä sekä vuoden että vuodenajan mukaan. Selkeänä erona todettiin Isotomidae-heimoon kuuluvien hyppyhäntäisten suurempi määrä luonnonmukaisesti kuin tavanomaisesti viljellyillä aloilla.

Sen sijaan änkyrimatojen ja lierojen määrässä tai biomassassa taas ei havaittu systemaattista eroja viljelysuuntien välillä (Palojärvi ym. 2002). Tuloksia tukee myös aiempi Särkisillan (1990) pro-gradu työ, jossa todetaan sukkulamatojen määrän olevan suurempi luonnonmukaisesti kuin tavanomaisesti viljellyillä pelloilla. Lierojen osalta löytyy lisäksi Nuutisen ja Haukan (1990) tutkimus, jossa ei havaittu eroja lierolajistossa luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti viljellyillä pelloilla, joskin suurin lierojen määrä havaittiin luomuviljellyillä nurmella.

Edellä mainittujen tutkimusten lisäksi maaperän ravintoverkon (sukkula- ja änkyrimadot, mikroniveljalkaiset ja lierot) koostumista tavanomaisesti ja luonnonmukaisesti viljellyillä vilja- ja nurmipelloilla on selvitetty Toholammin luomukoealalla vuonna 2018 (Hagner ym. julkaisemat).



Kuva 15. Sukkulamatojen ravinnonkäyttöryhmät. Kuvat: Marleena Hagner.

Suurin ero maaperäeliöiden määrässä ja diversiteetissä oli nurmen ja viljan välillä: nurmipelloilla änkyrimatojen määrä oli viisi, sukkulamatojen määrä 3–9 ja mikroniveljalkaisten määrä 5–7 kertaa suurempi kuin viljapelloilla. Sen sijaan sillä, oliko kyseessä tavanomainen vai luomupelto ei ollut suurta vaikutusta kyseisten ryhmien yksilömääriin. Poikkeuksen tekivät sienia syövät sukkulamadot sekä lierot, joiden määrä oli suurempi luonnonmukaisesti kuin tavanomaisesti viljellyllä viljapelloilla. Sienia syövien sukkulamatojen runsaus selittyi luonnonmukaisesti viljeltyjen viljapeltojen suuremmalla sienimäärällä verrattuna tavanomaisesti viljeltyihin viljapeltoihin (Peltoniemi ym. 2021). Tutkimuksessa kaikkien maaperäeläinten runsautta ja diversiteettiä selittivät parhaiten eri käsittelyissä lannoitteena käytetyn lannan määrä sekä erot viljelykierrossa käytetyissä kasvilajeissa (tuotantosuunnasta riippumatta). Lierojen osalta merkittävä tiheyteen vaikuttava tekijä on myös maan muokkaus: kyntö katkaisee lieroja ja rikkoo niiden kanavia. Kyntämättömyys lisää erityisesti syvälle kaivautuvien lierojen määrää riippumatta siitä onko pelto tavanomaisesti ja luonnonmukaisesti viljelty.



Kuva 16. Mikroniveljalkaisia. Kuva: Marleena Hager.

Muulla maailmalla luonnonmukaisten ja tavanomaisten viljelymaiden maaperäeläinyhteisöjen vertailuja on tehty jonkin verran. Laajassa meta-analyysissään Bengtsson ym. (2005) toteavat, että maaperäeläimet ovat yleisesti runsaampia luonnonmukaisesti viljellyillä kuin tavanomaisesti viljellyillä mailla, mutta vaihtelu tutkimusten välillä on suurta. Erityisen positiivisesti luonnonmukaiseen tuotantoon reagoivat lierot ja mikroniveljalkaiset (Bengtsson ym. 2005). Sen sijaan Tuck ym. (2014) ja de Graaff ym. (2019) päätyvät meta-analyyseissään toisenlaisiin johtopäätöksiin todeten luomutuotannolla olevan vähemmän vaikutusta maaperän hajottajien kuin useimpien muiden toiminnallisten eliöryhmien monimuotoisuuteen. Kyseisissä analyyseissä on kuitenkin mukana melko pieni otanta varsinaisia maaperäeläimiä koskevia julkaisuja. Tuoreessa meta-analyysissään myös Christel ym. (2021) arvioivat eri maanviljelystapojen vaikutusta maaperäeläinten diversiteettiin ja toimintaan. Meta-analyysin mukaan maaperäeläinten runsaus, diversiteetti ja aktiivisuus ovat merkittävästi (jopa 70 %) suurempia luonnonmukaisesti kuin tavanomaisesti viljellyillä pelloilla.

Merkittävimiksi maaperäeläinten hyvinvointia lisääviksi tekijöiksi Christel ym. (2021) nostivat luonnonmukaisessa viljelyssä yleisesti käytettävät orgaaniset lannoitteet ja maanpeitekasvit sekä pitkät ja monilajiset viljelykierrat. Tavanomaisessa viljelyssä maaperäeläinten hyvinvointia heikentävinä tekijöinä taas mainitaan runsas kasvinsuojeluaineiden käyttö ja toistuva maan muokkaus. Maaperän eliöstölle haitallisimpina kasvinsuojeluaineina mainitaan erityisesti sienitautien torjuntaan käytetyt fungisidit ja tuhoeläinten torjuntaan käytetyt insektisidit (Christel ym. 2021). Yleisesti ottaen voidaan todeta, että ravinnonkäyttöryhmistä kaikkiruokaiset ja pedot kärsivät usein eniten ympäristön häiriöistä, joten luonnonmukaiseen viljelyyn kuuluvat monivuotiset nurmet ovat usein niille eduksi. Kyseinen analyysi sisälsi 104 tieteellistä tutkimusta, joista 18 käsitteli sukkulamatoja, viisi mikroniveljalkaisia, 12 lieroja ja loput mikro-organismeja. Yksikään analyysiin sisällytyistä tutkimuksista ei kuitenkaan sijoittunut boreaaliselle kasvillisuusvyöhykkeelle.

Muulla maailmalla luomun positiivinen vaikutus maaperäeläindiversiteettiin on todettu useissa tutkimuksissa. Sen sijaan boreaalisisissa oloissa tällaista tutkimusta on tehty hämmästyttävän vähän. Koska pohjoisissa olosuhteissa maaperä, ilmasto-olosuhteet ja maataloustoimien intensiteetti poikkeavat paljonkin lämpimämmistä maista, tulisi tutkimustulokset vielä vahvistaa myös meidän olosuhteissamme.

4. Johtopäätökset

Mitä tämän hetken tutkimustiedon valossa voidaan sanoa luomutuotannon monimuotoisuusvaikutuksista Suomessa tai suomalaisia viljelyolosuhteita vastaavissa olosuhteissa?

Taulukkoon 1 on koottu eri eliöryhmien osalta saatavilla ollut julkaistu tieto. Yhteenvedona voidaan todeta, että Suomesta tai pohjoisilta alueilta on saatavilla erittäin vähän julkaistua tietoa. Vain luomutuotannon vaikutuksista luonnonvaraiseen kasvillisuuteen on suhteellisen hyvin tutkimustietoa saatavilla.

Saatavilla olevan tutkimustiedon valossa monimuotoisuusvaikutukset vaihtelevat neutraalista positiiviseen. Missään eliöryhmässä luomutuotannolla ei ole havaittu negatiivista vaikutusta monimuotoisuuteen tavanomaiseen tuotantoon verrattuna. Eniten luomutuotannosta hyötyy peltojen luonnonvarainen kasvillisuus, mikä selittyy pidättäytymisellä kasvinsuojeluaineiden käytöstä. Kasvit ovat erityisen alttiita kasvinsuojeluaineiden haittavaikutuksille, sillä niillä ei ole samanlaisia mahdollisuuksia liikkua kuten monilla muilla eliöryhmillä. Luomupelloilla luonnonvaraisilla kasveilla on paremmat edellytykset menestyä ja lisääntyä, mikä heijastuu positiivisesti niiden runsauteen ja lajimonimuotoisuuteen. Muissa eliöryhmissä muilla tekijöillä voi olla suurempi merkitys.

Taulukko 1. Yhteenvedoa luomutuotannon vaikutuksista eri eliöryhmien monimuotoisuuteen ja runsauteen boreaalisilla alueilla julkaistun tutkimuskirjallisuuden perusteella. Missään tutkimuksissa ei havaittu negatiivisia vaikutuksia.

Eliöryhmä	Luomulla neutraaleja vaikutuksia	Luomulla positiivisia vaikutuksia	Arvio luomutuotannon eduista eliöryhmän monimuotoisuudelle boreaalisella vyöhykkeellä
Luonnonvaraiset kasvit		Salonen ym. 2001, 2011, Hyvönen & Salonen 2002, Hyvönen ym. 2003, Carrié ym. 2022, Toivonen ym. 2022a	Selkeää näyttöä luomutuotannon luonnonvaraisten kasvien menestymiselle on saatavilla. Piennarkasveista ei tutkimustietoa. Puoliluonnonolosuhteissa maatalouselinympäristöissä ei eroja.
Pölyttäjät	Ekroos ym. 2008, Toivonen ym. 2022a	Aalto ym. 2004, Toivonen ym. 2022 a	Tutkimustietoa boreaaliselta vyöhykkeeltä on vain vähän. Vaikutukset neutraaleja-positiivisia nykyisen tiedon valossa.
Päiväperhoset	Ekroos ym. 2008, Toivonen ym. 2022a		Suomessa on toteutettu kaksi tutkimusta. Kummassakaan tutkimuksessa ei havaittu eroja luomutilojen ja tavanomaisten tilojen välillä, eli tuotantotavan vaikutus nykytietämyksen perusteella neutraali.
Petoniveljalkaiset	Ekroos ym. 2010a, Toivonen ym. 2022a		Vertailukelpoista tutkimustietoa on saatavilla hyvin vähän. Tutkittujen petoryhmien osalta luomun kokonaisvaikutus on neutraali.
Linnut	Piha ym. 2007	Piha ym. 2007, Santangeli ym. 2019	Boreaalisilta alueilta tutkimusta on niukasti. Vaikutukset nykyisen tiedon valossa neutraaleja-positiivisia ja hyvin lajikohtaisia.
Maaperän mikrobisto	Palojärvi ym. 2002	Palojärvi ym. 2002, Peltoniemi ym. 2021	Boreaalisilta alueilta tutkimusta on niukasti. Vaikutukset nykyisen tiedon valossa neutraaleja-positiivisia.
Maaperäeläimet	Nuutinen & Haukka 1990, Palojärvi ym. 2002, Hagner ym. (julkaisematon)	Särkisilta 1990, Palojärvi ym. 2002, Hagner ym. (julkaisematon)	Boreaalisilta alueilta tutkimusta on niukasti. Vaikutukset neutraaleja-positiivisia nykyisen tiedon valossa. Eliöryhmien välillä eroja.

Luomu- ja tavanomaisten tilojen tai peltolohkojen vertaaminen tutkimuksissa ei ole yksinkertaista. Jotta vertailu onnistuu, eri tuotantotapoja edustavien tilojen tai lohkojen pitäisi muistuttaa mahdollisimman paljon toisiaan muiden kuin tuotantotavan osalta. Molemmissa tuotantotavoissa esiintyy kuitenkin laaja kirjo erilaisia tiloja ja erilaisten viljelymenetelmien käyttöä. Luomutilojen on täytettävä luomutuotantosääntöjen asettamat minimivaatimukset, mutta tilat voivat tehdä myös paljon monimuotoisuutta tukevia lisätoimia. Tavanomaiset tilat taas voivat hyödyntää samoja menetelmiä kuin luomutilatkin, kuten orgaanisia lannoitteita ja monipuolista viljelykiertoa. Sen määrittely, mikä viljelyssä ja sen monimuotoisuusvaikutuksissa liittyy nimenomaan tuotantotapaan, ei ole helppoa.

Maataloustuotannon monimuotoisuusvaikutukset ovat kytköksissä myös tuotantosuuntiin. Suomessa luomutuotannon rakenteelle on tyypillistä nurmivaltaisuus ja vähäinen puutarhatuotannon määrä (Livonen ym. 2021). Suomessa tutkimusta luomutuotannon monimuotoisuusvaikutuksista onkin tehty etupäässä peltokasviviloilla ja hyvin vähän puutarhatuotantotiloilla. Tämän takia nykyisin saatavilla olevaa tutkimustietoa ei voi suoraan soveltaa kaikille tuotantosuunnille.

Vaikka nykyisen tutkimuskirjallisuuden valossa luomutuotannolla ei ole havaittu olevan negatiivisia monimuotoisuusvaikutuksia boreaalisisessa maatalousympäristössä, se ei automaattisesti tarkoita sitä, että negatiivisia vaikutuksia ei voisi ilmetä tutkimustiedon lisääntyessä. Esimerkiksi jotkut eliöt kuten lierot tai maassa talvehtivat petoniveljalkaiset kärsivät tietyistä viljelymenetelmistä kuten kynnöstä tai intensiivisestä mekaanisesta rikkakasvien torjunnasta, jotka ovat yleisempiä luomussa kuin tavanomaisessa viljelyssä. Myös peltojen luonnonvaraisten kasvien monimuotoisuus, joka luomussa on tyypillisesti tavanomaista tuotantoa suurempi, voi heikentyä rikkakasvien intensiivisen mekaanisen torjunnan seurauksena. Luomutuotannossa voi olla myös vaikeaa laajentaa monimuotoisuutta tukevaa viljelykasvivalikoimaa, sillä monien erikoiskasvien tuotanto on luomussa haastavaa esimerkiksi tuholais- ja rikkakasviongelmien ja luomutuotantoon sopivien lajikkeiden puutteen takia. Näihin haasteisiin on kuitenkin löydetävissä ratkaisuja pidemmällä tähtäimellä.

Monimuotoisuutta tukevia toimia maataloudessa

Maataloustuotannon pitäisi kehittyä entistä kestävämpään suuntaan ja oleellinen osa kestävyys siirtymää on luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen ja tukeminen. Maataloustuotannossa on tärkeää tunnistaa tuotantomenetelmät ja laajemmat kehityskulut, jotka heikentävät tai edistävät eri eliöryhmien monimuotoisuutta. Viljelymaiseman ja viljelyn yksipuolistuminen, kasvinsuojeluaineiden runsas käyttö, laiduntamisen väheneminen ja voimakas maanmuokkaus heikentävät monien lajien elinolosuhteita (Taulukko 2). Vastaavasti maankäyttöä monipuolistamalla ja häiriöitä kuten muokkausta tai muita viljelytoimenpiteitä keventämällä voidaan lisätä luonnonvaraisten eliöiden tarvitsemia resursseja ja vähentää niihin kohdistuvia stressitekijöitä.

Monimuotoisuutta tukevia ja edistäviä toimia voidaan tehdä kaikilla tiloilla. Taulukkoon 2 on kirjattu eri eliöryhmien menestymistä tukevia toimia, joista monet jo toteutuvat luomutiloilla. Luomutuotannon osalta on korostettu toimia, joiden toteuttamista luomutuotantosääntöjen noudattaminen ei välttämättä edellytä, mutta jotka tukisivat eri eliöryhmien menestymistä.

Taulukko 2. Maatalousympäristössä eliöryhmien menestymiseen vaikuttavat toimet ja kehityskulut

Eliöryhmä	Maatalousympäristössä haitallisesti eliöryhmän menestymiseen vaikuttavat toimet ja kehityskulut	Eliöryhmän menestymistä tukevat toimet (tummennettuna luomutilojen lisätoimet, joita luomusertifiointi ei välttämättä edellytä)
Luonnonvaraiset kasvit	<ul style="list-style-type: none"> • Rikkakasvien kemiallinen torjunta • Pientareiden luonnonvaraisen kasvillisuuden niidot 	<ul style="list-style-type: none"> • Rikkakasvien torjuntavalmisteiden käytön vähentäminen • Niittyjen suosiminen
Pölyttäjät	<ul style="list-style-type: none"> • Niittyjen väheneminen • Viljelymaisemien yksipuolistuminen • Vähäinen kukkivien ravintokasvien määrä • Kemiallisten kasvinsuojeluaineiden käyttö 	<ul style="list-style-type: none"> • Avoimien niittymäisten alueiden ylläpito • Palkokasvien ja muiden hyönteispölytteisten kasvien viljelyn edistäminen • Kemiallisen kasvinsuojelun korvaaminen muilla kasvinsuojelumenetelmillä • Viljelymaiseman monimuotoisuuden lisääminen
Petoniveljalkaiset	<ul style="list-style-type: none"> • Maanmuokkaus • Kasvinsuojeluaineiden runsas käyttö • Lohkokokojen kasvu • Viljelymaisemien yksipuolistuminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Jatkuvan kasvipeitteisyyden ylläpito • Monivuotisten nurmien suosiminen • Viljelemättömien pientareiden riittävä määrä maisemassa peltolohkojen kokoa ja/tai muotoa säätämällä
Linnut	<ul style="list-style-type: none"> • Yksipuolinen viljely (joka vähentää hyönteisiä) • Pesimäympäristöjen väheneminen (viljelymaisemien yksipuolistuminen) • Karjatalouden ja laiduntamisen väheneminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Laidunnus • Viljelymaiseman monimuotoisuuden lisääminen; maisemaelementtien/saarekkeiden lisääminen avoimilla alueilla • Kesannointi, erityisesti kauempana metsistä • Lintuystävälliset niittokäytännöt
Päiväperhoset	<ul style="list-style-type: none"> • Yksipuolinen maisemarakenne 	<ul style="list-style-type: none"> • Avoimien niittymäisten maisemien ylläpito • Laidunnus
Maaperän mikrobisto	<ul style="list-style-type: none"> • Peltomaan orgaanisen aineksen määrän väheneminen • Viljelyn yksipuolisuus • Maanmuokkaustoimet 	<ul style="list-style-type: none"> • Maanmuokkauksen vähentämien • Aluskasvien viljely ja talviaikaisen kasvipeitteisyyden ylläpito • Viljelyn monipuolistaminen • Orgaaninen lannoitus ja maanparannusaineet
Maaperäeläimet	<ul style="list-style-type: none"> • Toistuva maanmuokkaus • Synteettisten lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden runsas käyttö • Yksipuolinen viljely 	<ul style="list-style-type: none"> • Orgaaninen lannoitus ja maanparannusaineet • Pitkät ja monilajiset viljelykierrat, nurmijaksot • Maanmuokkauksen vähentäminen

Useimpien eliöryhmien monimuotoisuutta voitaisiin tukea lisäämällä avoimia viljelemättömiä alueita kuten pientareita, niittyjä ja pitkäaikaisia kesantoja sekä monipuolistamalla maankäyttöä maisematasolla. Pölyttäjien menestymistä voidaan tukea myös lisäämällä viljelykiertoon monipuolisesti palkokasveja ja muita hyönteispölytteisiä kasveja. Luomutiloilla on palkokasvi-vaatimus, mutta palkokasvien ja hyönteispölytteisten kasvien viljelyä on monilla tiloilla mahdollisuus lisätä ja monipuolistaa. Peltokasvialueilla ja pellonpiennarten monimuotoisella kasvillisuudella voidaan lisätä peltoympäristön ajallista kukkajaksumoia, joka turvaa pölyttäjien ja muiden hyönteisten ravinnonsaantia koko kasvukauden ajan.

Luomuviljelyn haasteena pidetään riittävää rikkakasvien hallintaa satotason turvaamiseksi. Rikkakasvit voidaan nähdä myös hyödyllisinä ekosysteemipalveluita tuottavina oheiskasveina. Ne tarjoavat erilaisia resursseja muille luonnonvaraisille eliöille ja lisäävät maan kasvipeitteisyyttä vähentäen eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista pellolta. Olisikin tärkeää oppia arvioimaan,

millainen määrä rikkakasveja ei vielä vähennä merkittävästi satotasoa, eikä aiheuta liian suuria torjuntahaasteita tulevina vuosina.

Maaperäeliöstön menestymisen kannalta maanmuokkauksen vähentäminen olisi luomutuotannossakin tavoiteltavaa. Maanmuokkauksen vähentäminen ja riittävä rikkakasvien hallinta edellyttää viljelykiertojen hyvää suunnittelua ja usein myös monimuotoisempia viljelykiertoja ja monivuotisten nurmien hyödyntämistä. Monivuotiset nurmet ja muut tuotantokasvit sekä aluskasvien käytön lisääminen tukevat myös maaperäeliöstön menestymistä. Luomutuotannossa, kuten tavanomaisessa tuotannossakin, olisi mahdollisuus edistää kotieläintuotannon ja kasvinuotannon integrointia, sillä Suomessakin on runsaasti kasvintuotantoon keskittyviä tiloja. Kotieläinten lannan hyödyntäminen ja laidunnus tukevat maaperäeliöstön, pölyttäjien ja lintujen elinolosuhteita tiloilla tuotantotavasta riippumatta.

Huoneentaulu luomuviljelijöille



Ehdotuksia tutkimusaiheiksi

Suomalaista luomutuotantoa on pyrittävä kehittämään tutkimukseen perustuvan tiedon avulla. Tämän raportin yhtenä tavoitteena oli nostaa esille niitä tietoaukkoja, joiden täyttämiseksi tutkimusta olisi suunnattava tavoiteltaessa luonnon monimuotoisuutta entistä paremmin tukevaa luomutuotantoa. Raportin kirjoittajien ehdotuksia tutkimusaiheiksi:

- Luomun vaikutus tila- tai maisematasolla: Peltomittakaavan tutkimuksissa ei tule esiin luomun mahdollinen maankäyttöä monipuolistava vaikutus. Tuotantotavan vaikutus voi myös jakautua laajalle alueelle niin, että sen havaitseminen vaatisi monimuotoisuuden mittaamista erilaisissa elinympäristöissä tilatasolla tai laajemmassa maisemayhteydessä.
- Eroaako tuotantoeliöstön monimuotoisuus kuten viljelykasvien laji- ja lajikediversiteetti Suomessa luomutilojen ja tavanomaisten tilojen välillä?
- Kuinka paljon viljelyn monipuolistaminen eri keinoilla (viljelykierto, sekaviljelymenetelmät, viljelykasvidiversiteetin nosto, palkokasvien sisällyttäminen viljelyyn jne.) hyödyttää luonnon monimuotoisuutta, ja missä määrin tämän vaikutus selittää havaittuja eroja tai samankaltaisuuksia tuotantotapojen välillä?
- Tutkimukset, joissa tarkastellaan samanaikaisesti monia eliöryhmiä (sis. maanalainen ja maanpäällinen) ja niiden yhteisdiversiteettiä.
- Keinot ekosysteemipalveluiden kuten ravinteiden kierron, hiilensidonnan ja luontaisen biologisen torjunnan tehostamiseen luonnon monimuotoisuuden suunnitelmallisen lisäämisen avulla.
- Monimuotoisuus- ja ekosysteemipalveluvaikutusten arviointiin tulisi kehittää yksinkertaisia havaintomenetelmiä viljelijöiden tueksi.

Viitteet

- Aalto, V., Bäckman, J.-P.C. & Helenius, J. 2004. Plant and bumblebee species diversity in boundaries of organic and conventional agricultural fields. In: Helenius, J. & Bäckman, J.-P.C. (toim.). Functional diversity in agricultural field margins. Nordic Council of Ministers. Copenhagen. p. 13–21.
- Alanen, E.-L., Hyvönen, T., Lindgren, S., Härmä, O. & Kuussaari, M. 2011. Differential responses of bumblebees and diurnal Lepidoptera to vegetation succession in long-term set-aside. *Journal of Applied Ecology* 48: 1251–1259. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664-2011.02012.x>
- Bàrbieri, P., Pellerin, S. & Nesme, T. 2017. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. *Scientific Reports* 7: 13761. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14271-6>
- Bàrbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V. & Nesme, T. 2019. Changes in crop rotations would impact food production in an organically farmed world. *Nature Sustainability* 2: 378–385. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0259-5>
- Bardgett, R. D. & van der Putten W.H. 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515: 505–511. <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- Battisti, L., Potrich, M., Sampaio, A.R., de Castilhos Ghisi, N., Martins Costa-Maia, F., Abati, R., Bueno dos Reis Martinez, C. & Sofia, S.H. 2021. Is glyphosate toxic to bees? A meta-analytical review. *Science of The Total Environment* 767: 145397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145397>
- Baxter, J. & Cummings, S.P. 2008. The degradation of the herbicide bromoxynil and its impact on bacterial diversity in a top soil. *Journal of Applied Microbiology* 104: 605–1616. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03709.x>
- Bengtsson, J., Ahnström J. & Weibull, A.C. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x>
- Bianchi, F., Ives, A. & Schellhorn, N. 2013. Interactions between conventional and organic farming for biocontrol services across the landscape. *Ecological Applications* 23: 1531–1543. <https://doi.org/10.1890/12-1819.1>
- Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G. & Zappalà, L. 2012. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: Selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere* 87: 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.082>
- Birkhofer, K., Ekroos, J., Corlett, E.B. & Smith, H.G. 2014. Winners and losers of organic cereal farming in animal communities across Central and Northern Europe. *Biological Conservation* 175: 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.04.014>
- Birkhofer, K., Fließbach, A., Wise, D. & Scheu, S. 2011. Arthropod food webs in organic and conventional wheat farming systems of an agricultural long-term experiment: a stable isotope approach. *Agricultural and Forest Entomology* 13: 197–204. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2010.00511.x>

- Bommarco, R., Lundin, O., Smith, H.G. & Rundlöf, M. 2012. Drastic historic shifts in bumble-bee community composition in Sweden. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279: 309–315. <http://doi.org/10.1098/rspb.2011.0647>
- Briones, M.J.I. 2014. Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science* 2(7): 1–22. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Bäckman, J.P.C. & Tiainen, J. 2002. Habitat quality of field margins in a Finnish farmland area for bumblebees (Hymenoptera: Bombus and Psithyrus). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89: 53–68. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00318-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00318-8)
- Börschig, C., Klein, A.M., von Wehrden, H. & Krauss, J. 2013. Traits of butterfly communities change from specialist to generalist characteristics with increasing land-use intensity. *Basic and Applied Ecology* 14: 547–554. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.09.002>
- Carrié, R., Ekroos, J. & Smith, H.G. 2018. Organic farming supports spatiotemporal stability in species richness of bumblebees and butterflies. *Biological Conservation* 227: 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.022>
- Carrié, R., Ekroos, J. & Smith, H.G. 2022. Turnover and nestedness drive plant diversity benefits of organic farming from local to landscape scales. *Ecological Applications* e2576. <https://doi.org/10.1002/eap.2576>
- Christel, A., Maron, P.A. & Ranjard, L. 2021. Impact of farming systems on soil ecological quality: a meta-analysis. *Environmental Chemistry Letters* 19: 4603–4625. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01302-y>
- Crowder, D., Northfield, T., Strand, M. & Snyder, W. 2010. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature* 466: 109–112. <http://www.nature.com/doi/10.1038/nature09183>
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., ... & Steffan-Dewenter, I. 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science advances* 5(10): eaax0121. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
- de Graaff, M.A., Hornslein, N., Throop, H.L., Kardol, P. & van Diepen, L.T. 2019. Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: a meta-analysis. *Advances in Agronomy* 155: 1–44. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.001>
- Díaz, S.M., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Roy C.R., Shin, Y.-J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K. & Zayas, C. 2019. The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 56 p. ISBN: 978-3-947851-13-3
- Diekötter T., Wamser, S., Wolters, V. & Birkhofer, K. 2010. Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137: 108–112. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.008>

- Dupont, Y., Damgaard, C. & Simonsen, V. 2011. Quantitative historical change in bumblebee (*Bombus* spp.) assemblages of red clover fields. *PLoS one* 6: e25172. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0025172>
- Ekroos, J., Hyvönen, T., Tiainen, J. & Tiira, M. 2010a. Responses in plant and carabid communities to farming practices in boreal landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135: 288–293. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.007>
- Ekroos, J., Heliölä, J. & Kuussaari, M. 2010b. Homogenization of lepidopteran communities in intensively cultivated agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 47, 459–467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01767.x>
- Ekroos, J., Piha, M. & Tiainen, J. 2008. Role of organic and conventional field boundaries on boreal bumblebees and butterflies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124, 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.09.003>.
- Ekroos, J., Tiainen, J., Seimola, T. & Herzon, I. 2019. Weak effects of farming practices corresponding to agricultural greening measures on farmland bird diversity in boreal landscapes. *Landscape Ecology* 34: 389–402. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00779-x>
- Erviö, L.-R. & Salonen, J. 1987. Changes in the weed population of spring cereals in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae* 26: 210–226.
- EU 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/848, annettu 30 päivänä toukokuuta 2018, luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti tuotettujen tuotteiden merkinnöistä ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 834/2007 kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848&from=FI>
- Eurostat. 2016. Agriculture, forestry and fishery statistics — 2016 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7777899/KS-FK-16-001-EN-N.pdf/cae3c56f-53e2-404a-9e9e-fb5f57ab49e3?t=1484314012000>
- Fernández-Gómez, M.J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E. & Goberna, M. 2011. Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity, and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides. *Bioresource Technology* 102: 9638–9645. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.113>
- Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L. & Mäder, P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118: 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022>
- Frąc, M., Hannula, S.E., Bełka, M. & Jedryczka, M. 2018. Fungal Biodiversity and Their Role in Soil Health. *Frontiers in Microbiology* 9: 707. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00707>
- Galloway, A., Seymour, C., Gaigher, R. & Pryke, J. 2021. Organic farming promotes arthropod predators, but this depends on neighboring patches of natural vegetation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 310: 107295. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107295>
- Gámez-Virués, S., Perović, D. J., Gossner, M. M., Börschig, C., Blüthgen, N., De Jong, H., ... & Westphal, C. 2015. Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. *Nature communications* 6: 1–8. <https://doi.org/10.1038/ncomms9568>

- Gill, R.J., Ramos-Rodriguez, O. & Raine, N.E. 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature* 491: 105–108. <https://doi.org/10.1038/nature11585>
- Goulson, D., Hanley, M.E., Darvill, B., Ellis, J.S. & Knight, M.E. 2005. Causes of rarity in bumblebees. *Biological conservation* 122: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.06.017>
- Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C. & Rotheray, E. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347: 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
- Gomiero, T., Pimentel, D., Paoletti, M. 2011. Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30: 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- Haan, N., Zhang, Y. & Landis, D. 2020. Predicting Landscape Configuration Effects on Agricultural Pest Suppression. *Trends in Ecology & Evolution* 35: 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.10.003>
- Hald, A.B. 1999. Weed vegetation (wild flora) of long established organic versus conventional cereal fields in Denmark. *Annals of Applied Biology* 134: 307–314. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1999.tb05269.x>
- Heikkinen, J., Keskinen, R., Kostensalo, J. & Nuutinen, V. 2022. Climate change induces carbon loss of arable mineral soils in boreal conditions. *Global Change Biology* 28: 3960–3973. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.16164>
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* 19: 1456–1469. <http://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- Heliölä, J., Kuussaari, M. & Pöyry, J. 2021. Pölyttäjien tila Suomessa. Kansallista pölyttäjästrategiaa tukeva taustaselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 34/2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5418-8>.
- Heliölä, J., Kuussaari, M., Rytteri, S., Holopainen, S., Korpela, E.-L., Paukkunen, J., Suuronen, A. & Pöyry, J. 2022. Pölyttäjien kannankehitys, seuranta ja hyönteispölytyksen taloudellinen arvo Suomessa. PÖLYHYÖTY-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 34/2022. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5508-6>
- Herzon, I., Ekroos, J., Tiainen, J., Seimola, T. & Vepsäläinen, V. 2011. Importance of set-aside for breeding birds of open farmland in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 143: 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.006>
- Hiron, M., Berg, Å., Eggers, S., Josefsson, J. & Pärt, T. 2013. Bird diversity relates to agri-environment schemes at local and landscape level in intensive farmland. *Agriculture, ecosystems & environment* 176: 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.013>
- Hiron, M., Berg, Å., Eggers, S., Berggren, Å., Josefsson, J. & Pärt, T. 2015. The relationship of bird diversity to crop and non-crop heterogeneity in agricultural landscapes. *Landscape Ecology* 30: 2001–2013. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0226-0>
- Hokkanen, H.M.T., Menzler-Hokkanen, I. & Keva, M. 2017. Long-term yield trends of insect-pollinated crops vary regionally and are linked to neonicotinoid use, landscape

- complexity, and availability of pollinators. *Arthropod-Plant Interactions* 11: 449–461. <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9527-3>
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. & Tscharntke, T. 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology* 44: 41–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664-2006.01259.x>
- Hsu, G.-C., Ou, J.-A. & Ho, C.-K. 2021. Pest consumption by generalist arthropod predators increases with crop stage in both organic and conventional farms. *Ecosphere* 12: e03625. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3625>
- Hyvönen, T. & Salonen, J. 2002. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels - a six-year experiment. *Plant ecology* 159: 73–81. <https://doi.org/10.1023/A:1015580722191>
- Hyvönen, T. & Salonen, J. 2003. Weed seedbank development under low-input and conventional cropping practices. *Aspects of Applied Biology* 69: 119–124.
- Hyvönen, T., Ketoja, E., Salonen, J., Jalli, H. & Tiainen, J. 2003. Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97: 131–149. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)-00117-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)-00117-8)
- Hyvönen, T. 2007. Can conversion to organic cropping restore the species composition of arable weed communities? *Biological Conservation* 137: 382–390. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.02.021>
- Iivonen, S., Koikkalainen, K., Miettinen, A. & Autio, S. 2021. 4.5. Tavoite 5: Luonnonmukaiseen maatalouden piiriin kuuluva maatalousmaa ja agroekologisten käytäntöjen käyttö. In: Arvio EU:n biodiversiteettistrategian 2030 vaikutuksista Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 75/2021. s. 148–167. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-298-8>
- Imfeld, G. & Vuilleumier, S. 2012. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. *European journal of soil biology* 49: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.11.010>
- Jacobsen, S., Sigsgaard, L., Johansen, A., Thorup-Kristensen, K. & Jensen, P. 2022. The impact of reduced tillage and distance to field margin on predator functional diversity. *Journal of Insect Conservation* 26: 491–501. <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00370-x>
- Jonason, D., Andersson, G.K., Öckinger, E., Rundlöf, M., Smith, H.G. & Bengtsson, J. 2011. Assessing the effect of the time since transition to organic farming on plants and butterflies. *Journal of Applied Ecology* 48: 543–550. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01989.x>
- Jonason, D., Andersson, G.K., Öckinger, E., Smith, H.G. & Bengtsson, J. 2012. Field scale organic farming does not counteract landscape effects on butterfly trait composition. *Agriculture, ecosystems & environment* 158: 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.026>
- Josefsson, J., Berg, Å., Hiron, M., Pärt, T. & Eggers, S. 2017. Sensitivity of the farmland bird community to crop diversification in Sweden: does the CAP fit? *Journal of Applied Ecology* 54: 518–526. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12779>

- Kaila, L., Ketola, J., Toivonen, M., Loukola, O., Hakala, K., Raiskio, S., Hurme, T. & Jalli, M. 2021. Pesticide residues in honeybee-collected pollen: does the EU regulation protect honeybees from pesticides? *Environmental Science and Pollution Research* 29: 18225–18244. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16947-z>
- Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R., ... & Kremen, C. 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology letters* 16: 584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L.G., Henry, M., Isaacs, R., ... & Potts, S.G. 2015. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature communications* 6: 1–9. <https://doi.org/10.1038/ncomms8414>
- Kivinen, S., Luoto, M., Kuussaari, M. & Helenius, J. 2006. Multi-species richness of boreal agricultural landscapes: effects of climate, biotope, soil and geographical location. *Journal of Biogeography* 33: 862–875. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01433.x>
- Korpela, E.-L., Hyvönen, T. & Kuussaari, M. 2015. Logging in boreal field-forest ecotones promotes flower-visiting insect diversity and modifies insect community composition. *Insect Conservation and Diversity* 8: 152–162. <https://doi.org/10.1111/icad.12094>
- Kotze, D., Niemelä, J., O'Hara, R. & Turin, H. 2003. Testing abundance-range size relationships in European carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Ecography* 26: 553–566. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03488.x>
- Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 187–228. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(99\)00037-7](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(99)00037-7)
- Kuussaari, M., Heliölä, J., Luoto, M., & Pöyry, J. 2007. Determinants of local species richness of diurnal Lepidoptera in boreal agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122: 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.02.008>
- Kuussaari, M., Hyvönen, T. & Härmä, O. 2011. Pollinator insects benefit from rotational fallows. *Agriculture, ecosystems & environment* 143: 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.006>
- Känkänen, H. & Iivonen, S. 2021. Luomutilat hyödyntävät kerääjäkasveja. *Luomulehti* 3/2021: 42–43.
- Legrand, A., Gaucherel, C., Baudry, J. & Meynard, J.-M. 2011. Long-term effects of organic, conventional, and integrated crop systems on Carabids. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 515–524. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0007-3>
- Lehtonen, T. 2012. Mehiläispölytyksen taloudellinen arvo Suomessa viljeltävien kasvien ja luonnonmarjojen sadontuotannossa. *Maisterintutkielma. Maataloustieteiden laitos, Helsingin yliopisto.* 63 s.
- Lichtenberg, E.M., Kennedy, C.M., Kremen, C., Batary, P., Berendse, F., Bommarco, R., ... & Crowder, D.W. 2017. A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes. *Global change biology* 23: 4946–4957. <https://doi.org/10.1111/gcb.13714>

- Lori, M., Symnaczik, S., Mäder, P., De Deyn, G. & Gattinger, A. 2017. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLoS ONE* 12: e0180442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>
- Lämsä, J., Kuusela, E., Tuomi, J., Juntunen, S. & Watts, P.C. 2018. Low dose of neonicotinoid insecticide reduces foraging motivation of bumblebees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 285: 20180506. <http://doi.org/10.1098/rspb.2018.0506>
- Mukula, J., Raatikainen, M., Lallukka, R. & Raatikainen, T. 1969. Composition of weed flora in spring cereals in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae* 8: 59–109.
- Murrell, E. & Barton, B. 2017. Warming Alters Prey Density and Biological Control in Conventional and Organic Agricultural Systems. *Integrative and Comparative Biology* 57: 1–13. <https://doi.org/10.1093/icb/ix006>
- Niemi, M., Vanhala, P., Jorgensen, K. & Esala, M. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. *Maa- ja elintarviketalous 2. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT*. 92 p. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met2.pdf>
- Nuutinen, V. & Haukka, J. 1990. Conventional and organic cropping systems at Suitia VII: Earthworms. *Journal of Agricultural Science in Finland* 62: 357–367. <https://doi.org/10.23986/afsci.72910>
- Palojärvi, A., Alakukku, L., Martikainen, E., Niemi, M., Vanhala, P., Jorgensen, K. & Esala, M. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. *Maa- ja elintarviketalous 2. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT*. 92 s. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met2.pdf>
- Paukkunen, J., Paappanen, J., Leinonen, R., Puntila, P., Pöyry, J., Raekunnas, M., Teräs, I., Vepsäläinen, K. & Vikberg, V. 2019. Myrkkypistiäiset. Julkaisussa: Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. *Suomen lajien uhanalaisuus - Punainen kirja 2019*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 451–465.
- Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Lemola, R. & Pennanen, T. 2021. Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. *European Journal of Soil Biology* 104: 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103314>
- Pettis, J.S., Lichtenberg, E.M., Andree, M., Stitzinger, J., Rose, R. & Vanengelsdorp, D. 2013. Crop pollination exposes honey bees to pesticides which alters their susceptibility to the gut pathogen *Nosema ceranae*. *PloS one* 8: e70182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070182>
- Pfiffner L. & Niggli, U. 1996. Effects of Bio-dynamic, Organic and Conventional Farming on Ground Beetles (Col. Carabidae) and Other Epigeic Arthropods in Winter Wheat. *Biological Agriculture & Horticulture* 12: 353–364. <https://doi.org/10.1080/01448765.1996.9754758>
- Piha, M., Tiainen, J., Holopainen, J. & Vepsäläinen, V. 2007. Effects of land-use and landscape characteristics on avian diversity and abundance in a boreal agricultural landscape with organic and conventional farms. *Biological Conservation* 140: 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.021>

- Puech, C., Baudry, J., Joannon, A., Poggi, S. & Aviron, S. 2014. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 194: 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.05.002>
- Purtauf, T., Roschewitz, I., Dauber, J., Thies, C., Tschardtke, T. & Wolters V. 2005. Landscape context of organic and conventional farms: Influences on carabid beetle diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 108: 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.005>
- Raimets, R., Karise, R., Mänd, M., Kaart, T., Ponting, S., Song, J. & Cresswell, J.E. 2018. Synergistic interactions between a variety of insecticides and an ergosterol biosynthesis inhibitor fungicide in dietary exposures of bumble bees (*Bombus terrestris* L.). *Pest Management Science* 74: 541–546. <https://doi.org/10.1002/ps.4756>
- Reganold, J.P. & Wachter, J.M. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants* 2: 1–8. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Rundlöf, M. 2007. Biodiversity in agricultural landscapes: landscape and scale-dependent effects of organic farming. *Väitöskirja, Lundin yliopisto*.
- Rundlöf, M., Bengtsson, J. & Smith, H. G. 2008. Local and landscape effects of organic farming on butterfly species richness and abundance. *Journal of Applied Ecology* 45: 813–820. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01448.x>
- Rundlöf, M. & Smith, H.G. 2006. The effect of organic farming on butterfly diversity depends on landscape context. *Journal of Applied Ecology* 43: 1121–1127. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01233.x>
- Rundlöf, M., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Fries, I., Hederström, V., Herbertsson, L., Jonsson, O., Klatt, B.K., Pedersen, T.R., Yourstone, J. & Smith, H.G. 2015. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* 521: 77–80. <https://doi.org/10.1038/nature14420>
- Rundlöf, M., Nilsson, H. & Smith, H.G. 2008. Interacting effects of farming practice and landscape context on bumble bees. *Biological Conservation* 141: 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.011>
- Rydberg, N.T. & Milberg, P. 2000. A survey of weeds in organic farming in Sweden. *Biological agriculture & horticulture* 18: 175–185.
- Röös, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., Wallenbeck, A., Hoffmann, R., Nilsson, U., Sundberg, C. & Watson, C. 2018. Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. A review. *Agronomy for sustainable development* 38: 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0489-3>
- Salonen, J., Hyvönen, T. & Jalli, H. 2001. Weeds in spring cereal fields in Finland – a third survey. *Agricultural and Food Science in Finland* 10: 347–367
- Salonen, J., Hyvönen, T. & Jalli, H. 2011. Composition of weed flora in spring cereals in Finland – a fourth survey. *Agricultural and Food Science* 20: 245–261.
- Salonen, J., Hyvönen, T., Kaseva, J. & Jalli, H. 2013. Impact of changed cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland. *Weed Research* 53: 110–120. <https://doi.org/10.1111/wre.12004>

- Sanders, J. & Hess, J. (toim.) 2019. Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. 364 p, Thünen Rep 65. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn060722.pdf
- Santangeli, A., Lehikoinen, A., Lindholm, T. & Herzon, I. 2019. Organic animal farms increase farmland bird abundance in the boreal region. *Plos one* 14: e0216009. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216009>
- Scheper, J., Holzschuh, A., Kuussaari, M., Potts, S.G., Rundlöf, M., Smith, H.G. & Kleijn, D. 2013. Environmental factors driving the effectiveness of European agri-environmental measures in mitigating pollinator loss – a meta-analysis. *Ecology letters* 16: 912–920. <https://doi.org/10.1111/ele.12128>
- Senapathi, D., Fründ, J., Albrecht, M., Garratt, M. P., Kleijn, D., Pickles, B. J., ... & Klein, A. M. 2021. Wild insect diversity increases inter-annual stability in global crop pollinator communities. *Proceedings of the Royal Society B* 288: 20210212. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0212>
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., de Moraes Sa, J.C. & Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—effects of no-tillage. *Agronomie*, 22: 755–775. <https://doi.org/10.1051/agro:2002043>
- Smith, H.G., Birkhofer, K., Clough, Y., Ekroos, J., Olsson, O. & Rundlöf, M. 2014. Beyond dispersal: the roles of animal movement in modern agricultural landscapes. In: *Animal movement across scales*. Oxford University Press. p. 51–70.
- Smith, H.G., Dänhardt, J., Lindström, Å. & Rundlöf, M. 2010. Consequences of organic farming and landscape heterogeneity for species richness and abundance of farmland birds. *Oecologia* 162: 1071–1079. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1588-2>
- Smith, O.M., Cohen, A.L., Reganold, J.P., Jones, M.S., Orpet, R.J., Taylor, J.M., Thurman, J.H., Cornell, K.A., Olsson, R.L., Ge, Y., Kennedy, C.M. & Crowder, D.W. 2020. Landscape context affects the sustainability of organic farming systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 2870–2878. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906909117>
- Smith, L.G., Kirk, G.J., Jones, P.J. & Williams, A.G. 2019. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature communications*, 10: 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12622-7>
- Stanley, D.A., Russel, A.L., Morrison, S.J., Rogers, C. & Raine, N.E. 2016. Investigating the impacts of field-realistic exposure to a neonicotinoid pesticide on bumblebee foraging, homing ability and colony growth. *Journal of Applied Ecology* 53: 1440–1449. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12689>
- Stein-Bachinger, K., Gottwald, F., Haub, A. & Schmidt, E. 2021. To what extent does organic farming promote species richness and abundance in temperate climates? A review. *Organic Agriculture* 11: 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00279-2>
- Straw, E.A. & Brown, M.J.F. 2021. Co-formulant in a commercial fungicide product causes lethal and sub-lethal effects in bumble bees. *Scientific Reports* 11: 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00919-x>

- Sulkava, P., Huhta, V. & Laakso, J. 1996. Impact of soil faunal structure on decomposition and N-mineralisation in relation to temperature and moisture in forest soil. *Pedobiologia* 40: 505–513.
- Särkisilta, O. 1990. Viljelymenetelmien vaikutus peltomaan sukkulamatofaunaan. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, Biologian laitos. 19 s.
- Tarmi, S. & Bäckman, J.-P. 2004. Pientareiden kasvit. Julkaisussa: Tiainen, J., Kuussaari, M., Laurila, I.P. & Toivonen, T. (toim.). *Elämää pellossa – Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus*. Edita Publishing. s. 98–111.
- Teräs, I. 1976. Bumblebees, *Bombus* Latr. (Hymenoptera, Apidae), on red clover in South Savo, Finland. *Annales Agriculturae Fenniae* 15: 116–127. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014102045386>
- Teräs, I. 1985. Food plants and flower visits of bumblebees (*Bombus*: Hymenoptera, Apidae) in southern Finland. *Acta Zoologica Fennica* 179: 1–120.
- Tiainen, J. & Pakkala, T. 2000. Maatalousympäristön muutokset ja seuranta Suomessa. Linnutvuosikirja 1999. s. 98–105.
- Tiainen, J., Piha, M., Piironen, J., Rintala, J. & Vepsäläinen, V. 2004. Maatalousympäristön pesimälinnusto. Julkaisussa: Tiainen J, Kuussaari M, Laurila IP, Toivonen T (toim.). *Elämää pellossa—Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus*. Edita Publishing Oy, Helsinki. s. 147–163
- Toikkanen, J., Halme, P., Kahanpää, J. & Toivonen, M. 2022. Effects of landscape composition on hoverflies (Diptera: Syrphidae) in mass-flowering crop fields within forest-dominated landscapes. *Journal of Insect Conservation* 26: 907–918. <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00436-w>
- Toivonen, M., Herzon, I. & Kuussaari, M. 2015. Differing effects of fallow type and landscape structure on the occurrence of plants, pollinators and birds on environmental fallows in Finland. *Biological Conservation* 181: 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.034>
- Toivonen, M., Herzon, I., Rajanen, H., Toikkanen, J. & Kuussaari, M. 2019. Late flowering time enhances insect pollination of turnip rape. *Journal of Applied Ecology* 56: 1164–1175. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13349>
- Toivonen, M., Huusela, E., Hyvönen, T., Marjamäki, P., Järvinen, A. & Kuussaari, M. 2022a. Effects of crop type and production method on arable biodiversity in boreal farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 337: 108061. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108061>
- Toivonen, M., Karimaa, A.-E., Herzon, I. & Kuussaari, M. 2022b. Flies are important pollinators of mass-flowering caraway and respond to landscape and floral factors differently from honeybees. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 323: 107698. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107698>
- Tscharntke, T., Grass, I., Wanger, T., Westphal, C. & Batáry, P. 2021. Beyond organic farming – harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in Ecology & Evolution* 36: 919–930. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.010>

- Tsiafouli, M.A., Thébault, E., Sgardelis, S.P., de Ruiter, P.C., van der Putten W.H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F.T., Bardgett, R.D., Brady M.V., Bjornlund, L., Jørgensen, H.B., Christensen, S., Hertefeldt, T.D., Hotes, S., Gera Hol, W.H., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S.R., Setälä, H., Tzanopoulos J., Uteseny, K., Pižl, V., Stary, J., Wolters, V. & Hedlund, K. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* 21: 973–985. <http://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- Tuck, S.L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L.A. & Bengtsson, J. 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: A hierarchical meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51: 746–755. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12219>
- van der Werf, H.M.G., Knudsen, M.T. & Cederberg, C. 2020. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability* 3: 419–425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
- Weibull, A.C., Östman, Ö. & Granqvist, Å. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12: 1335–1355.
- Winqvist C., Bengtsson, J., Aavik, T., Berendse, F., Clement, L.W., Eggers, S., Fischer, C., Flohre, A., Geiger, F., Liira, J., Pärt, T., Thies, C., Tscharrntke, T., Weisser, W. & Bommarco, R. 2011. Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *Journal of Applied Ecology* 48: 570–579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01950.x>
- Wood, T.J. & Goulson, D. 2017. The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post. 2013. *Environmental science and pollution research international*. 24: 17285–17325. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9240-x>
- Woods, L.E., Cole, C.V., Elliott, E.T., Anderson, R.V. & Coleman, D.C. 1982. Nitrogen transformations in soil as affected by bacterial micro faunal interactions. *Soil Biology. Biochemistry* 14: 93–98.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

