

**LANTALÄJÄSSÄ KUHISEE
– UUSI MENETELMÄ LANTAKUORIAISTEN TOIMINNAN
TARKASTELUUN**

Saija Lähtenmäki
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Agroekologia
2013

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Saija Lähteenmäki			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Lantaläjässä kuhisee – uusi menetelmä lantakuoriaisten toiminnan tarkasteluun			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroekologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Helmikuu 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 38 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Lantakuoriaiset ovat tärkeitä maatalousekosysteemien toiminnan kannalta. Lantakuoriaisten keskuudessa useat erilaiset toiminnalliset ryhmät hajottavat laiduntavien eläinten lantaa ja kierrättävät lannan ravinteita takaisin maahan. Monet Suomen lantakuoriaiset ovat kuitenkin taantuneet elinympäristöjen vähenemisen ja muuttumisen myötä. Siksi on tärkeää selvittää, millaisia seurauksia eri lajien ja ryhmien taantumisella on ekosysteemien toiminnan kannalta. Monissa aiheita käsittelevissä tutkimuksissa tutkimusmenetelmät ovat kuitenkin perustuneet pienen mittakaavan kokeisiin, mikä saattaa vaikuttaa niissä havaittuihin tuloksiin.</p> <p>Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää, voidaanko suurikokoisia aitauksia käyttää lantakuoriaisten toiminnan tutkimiseen Suomen olosuhteissa. Uuden menetelmän avulla halusin tutkia, miten eri lajeista kootut lantakuoriaisyhteisöt vaikuttavat lannan hajoamiseen ja laidunnurmen kasvuun. Lisäksi halusin selvittää laidunpaineen vaikutuksen lantakuoriaisten toimintaan.</p> <p>Kokeessa muodostin lantiais- ja sittiäislajeista erilaisia lantakuoriaisyhteisöjä, jotka sijoitin suuriin, kahdesta vaihtoehdoisesta verkosta rakennettuihin aitauksiin. Pienempiverkkoisiin aitauksiin lisäksi kaikki lantakuoriaiset ja suurempiverkkoisiin aitauksiin sittiäisiä pienikokoisemmat lantaiset pääsivät itse verkon läpi. Testatakseni aitausten toimivuutta mittasin lantakuoriaisten määrää verkon ulko- ja sisäpuolella useaan otteeseen kokeen aikana. Aitauksien sisällä oli eri laidunpainetta nurmen pituudella kuvastavia ruutuja. Niillä seurasin lantaläjien hajoamista punnitsemalla läjiä kuudesti kokeen aikana. Lopuksi tutkin lantakuoriaisten vaikutusta laidunnurmen kasvuun punnitsemalla kasvibiomassaa läjien ympäriltä ja kasvattamalla rairuohoa läjien alta kaivetussa maassa.</p> <p>Suuret lantakuoriaishäkit näyttivät toimivan hyvin Suomen olosuhteissa. Eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutuksesta lannan hajoamiseen sain vaihtelevia tuloksia eri aitaustyypeistä. Suurempiverkkoisissa aitauksissa sittiäiset osoittautuivat lantaisia merkittävämmiksi lannan hajottajiksi, mutta pienempiverkkoisissa aitauksissa eroja eri yhteisöjen toiminnallisesta tehokkuudesta ei löytynyt. Erot saattoivat johtua siitä, että toiseen aitaustyyppiin lisäksi lantakuoriaiset ja toiseen lantaiset pääsivät itse verkon läpi. Tämä saattoi vaikuttaa lantakuoriaisten toimintaan.</p> <p>Laidunpaine vaikutti selvästi lannan hajoamisnopeuteen. Lantaläjät kevenivät huomattavasti nopeammin lyhyessä nurmessa kuin pitkässä. Lämpötilaerot erikorkuisten nurmien välillä saattoivat vaikuttaa lantakuoriaisten hakeutumiseen lyhyessä nurmessa olleisiin läjiin. Sen sijaan eri lantakuoriaisyhteisöillä ei ollut havaittavaa vaikutusta laidunnurmen kasvuun.</p> <p>Kaiken kaikkiaan tutkimuksestani selviää, että verkosta rakennettuja aitauksia voi käyttää tehokkaasti lantakuoriaisten toiminnan tutkimiseen. Tutkimus vahvisti myös osittain aiempia havaintoja toiminnallisten ryhmien erilaisesta merkityksestä. Lisäksi laidunpaineen vaikutus lannan hajoamisnopeuteen osoitti, että laidunympäristöllä saattaa olla tärkeä merkitys lantakuoriaisten toimintaan.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ekosysteemipalvelut, lantaiset, sittiäiset, laidunpaine, koeaitaus			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat Tomas Roslin ja Eleanor Slade			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Saija Lähteenmäki			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Buzzing in the pat – a new large-scale method for studying dung beetle functions			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroecology			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year February 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 38 p.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Dung beetles affect ecosystem functioning in agricultural landscapes. Among these beetles several functional groups decompose cattle dung and contribute to recycling its nutrients back to the soil. Today many Finnish dung beetle species are threatened because of habitat change and fragmentation. Therefore, the impacts of changes in dung beetle community structure on ecosystem functioning needs to be addressed. However, many earlier studies of dung beetle functions have focussed only on small-scale manipulations with possible implications for interpretation of the results on larger scale.</p> <p>The aim of this study was to assess whether large-scale enclosures can be used to manipulate dung beetle communities in Finland. With this new method I wanted to examine how different dung beetle communities affected dung decomposition and nutrient cycling. I also wanted to examine whether grazing pressure affected dung decomposition.</p> <p>I used two types of mesh enclosures to create different communities of <i>Aphodius</i> and <i>Geotrupes</i> species. In small mesh enclosures I added dung beetles manually, while in the large mesh enclosures the smaller <i>Aphodius</i> species could get through the mesh, and <i>Geotrupes</i> were then added manually to some of these enclosures. During the experiment I repeatedly measured the amount of dung beetles inside and outside of the mesh to assess the performance of the enclosures. Within enclosures I created plots that reflected different grazing pressure. In every plot I placed a dung pat which I then weighed six times during the summer. At the end of the experiment I studied the effect of dung beetles on nutrient cycling by weighing the biomass of grass.</p> <p>Overall, I found that the large enclosures are usable and work well in Finland. My results from the enclosures with the bigger mesh size showed that <i>Geotrupes</i> are more efficient decomposers of dung than are <i>Aphodius</i>. However, there were no significant differences between <i>Aphodius</i> and <i>Geotrupes</i> in enclosures made of smaller mesh. Thus, different enclosures may have affected the functioning of the dung beetles because I put the beetles to some enclosures and to some they could get through the mesh.</p> <p>Dung decomposition rates changed remarkably between the different grazing pressures. The end weight of pats was lighter in short grass compared to pats in long grass. It is possible that this reflects microhabitat selection by beetles choosing the warmer pats in the short grass. Dung beetle community structure did not affect rates of nutrient recycling, as measured by grass growth.</p> <p>In conclusion, the results of my study suggest that large-scale enclosures can be effectively used to study dung beetle functions in grassland habitats. This study also confirms earlier observations regarding the significance of different functional groups of dung beetles, and shows that the grazing environment may have an important impact on the ecosystem functions provided by dung beetles.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ecosystem services, <i>Aphodius</i> , <i>Geotrupes</i> , grazing pressure, enclosures			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors Tomas Roslin & Eleanor Slade			

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	8
2.1 Koeasetelma	8
2.2 Kokeen eteneminen	12
2.3 Tilastolliset menetelmät	15
3 TULOKSET	16
3.1 Koeaitausten toimivuus	16
3.2 Lantaläjien painon kehitys	17
3.2.1 Laidunpaineen vaikutus lannan painon kehitykseen	19
3.2.2 Eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutus lannan painon kehitykseen	20
3.2.3 Samankaltaisten yhteisöjen vaikutus lannan painon kehitykseen eri käsittelyissä	21
3.3 Lantakuoriaisten vaikutus nurmen biomassaan	23
3.4 Maan vesipitoisuus ja lämpötila	24
4 TULOSTEN TARKASTELU	26
4.1 Koeaitausten toimivuus	26
4.2 Lannan hajoaminen	28
4.3 Lantakuoriaisyhteisöjen vaikutus laidunnurmen kasvuun	29
4.4 Laidunpaine, maan vesipitoisuus ja lämpötila	30
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
6 KIITOKSET	33
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Ekosysteemipalveluilla tarkoitetaan yleisesti hyötyjä, joita luonto tuottaa ihmisille (De Groot ym. 2002, Kremen 2005). Tällaisia ovat muun muassa viljelykasvien pölytys, biologinen tuholaistorjunta sekä veden ja ilman puhdistus (Kremen 2005, Winfree ym. 2011). Usein monien ekosysteemipalveluiden takana ovat hyönteiset ja muut niveljalaiset (mm. De Bach 1974, Kremen ym. 2002, Schowalter 2012). Sekä niiden biomassassa, että lajimäärä onkin vallitseva useimmissa maanpäällisissä ekosysteemeissä (mm. Pimm ym. 1995, Pimentel ym. 1997).

Hyönteisten joukossa lantakuoriaiset (Coleoptera: Scarabaeoidea) tuottavat ihmisille tärkeitä ekosysteemipalveluita muun muassa hajottamalla lantaa ja kierrättämällä sen ravinteita (mm. Fincher 1983, Mittal 1993, Bertone 2004, Nichols ym. 2008). Ilman lantakuoriaisia lannan hajoaminen tapahtuisi huomattavasti hitaammin (mm. Holter 1979, Gittings ym. 1994, Yamada ym. 2007). Suomen oloissa selkärangattomien on osoitettu hajottavan suunnilleen puolet lehmien tuottamista jätöksistä (Kaartinen, R., Hardwick, B. ja Roslin, T., julkaisematon). Lantakuoriaisten lisäksi kastemadot tekevät merkittävän osan tästä työstä. (Holter 1977, Holter 1979, Gittings ym. 1994)

Myös tärkeiden kasvinravinteiden määrän on todettu olevan yhteydessä lantakuoriaisten läsnäoloon (Bertone 2004, Lastro 2006, Yamada ym. 2007). Mitä enemmän lantakuoriaisia on lantaläjässä, sitä tehokkaammin lannan ravinteet siirtyvät maahan (Yamada ym. 2007). Lisäksi laidunrehun kuiva-aine- ja typpipitoisuuden on osoitettu kasvavan lantakuoriaisten edistäessä ravinteiden kiertoa lannasta takaisin maahan (Fincher ym. 1981, Bang ym. 2005). Osoituksena lantakuoriaisten tarjoamien ekosysteemipalveluiden arvosta Losey ja Vaughan (2006) laskivat niiden vuosittain estävän 380 miljoonan dollarin taloudelliset menetykset pelkästään Yhdysvalloissa.

Lantakuoriaisten tarjoamia ekosysteemipalveluita uhkaavat useat muutokset lajien elinympäristöissä. Suomessa karjatilojen väheneminen (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012a) on johtanut lantakuoriaisten elinympäristöjen pirstoutumiseen ja häviämiseen. Seurauksena tästä noin puolet Suomen lantakuoriaislajeista on luokiteltu uhanalaisiksi tai silmälläpidettäviksi (Roslin ja Heliövaara 2009, Rassi ym.

2010). Lisäksi karjatalouden keskittyminen tietyille alueille (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012b, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012c) on johtanut myös laidunten ja laiduneläinten keskittymiseen. Tästä johtuen erityisesti Etelä- ja Lounais-Suomessa on laajoja karjattomia alueita (Vainio ym. 2001).

Karjatilojen vähenemisen ja karjatalouden alueellistumisen ohella lantakuoriaisia uhkaavat perinteisissä laiduntyypeissä viimeisen vuosisadan aikana tapahtuneet muutokset. Lajirikkaina tunnetut perinneympäristöt kuten esimerkiksi hakamaat, erilaiset niityt, kedot ja metsälaitumet ovat vaihtuneet niin kasvustoltaan kuin ympäristöltäänkin tasalaatuisiin viljeltyihin laitumiin (Vainio ym. 2001, Pykälä ja Alanen 2004). Perinneympäristöt tunnetaan niukkaravinteisina alueina, joiden matala niittykasvillisuus eroaa lannoitettujen kylvönurmilaitumien kookkaista ruohoista ja heinistä (Vainio ym. 2001). Vaikka hyönteisten on todettu yleisesti olevan runsaimmillaan hoitamattomilla tai vain vähän laidunnetuilla nurmialueilla (Morris 2000), monet Euroopan uhanalaiset hyönteiset ovat kuitenkin riippuvaisia lyhyestä nurmesta (Thomas 1991). Pöyry ym. (2006) ovat todenneet, että erityisesti elinympäristövaatimuksiltaan erikoistuneet hyönteislajit ovat runsaimmillaan lyhyemmässä kasvillisuudessa kuin yleislajit. Ilmeisesti myös osa uhanalaisista lantakuoriaislajeista suosii erityisen intensiivisesti laidunnettuja alueita, joissa auringon säteet pääsevät tehokkaasti lämmittämään maan pintaa matalan kasvillisuuden läpi (Roslin ja Heliövaara 2009, Roslin ym. 2009). Toisessa ääripäässä erityisen voimaperäisen laidunnuksen on todettu vähentävän lantakuoriaisten lajimonimuotoisuutta Italiassa (Negro ym. 2011).

Lantakuoriaiset voidaan jakaa toiminnallisesti kolmeen eri ryhmään: asujat, kaivautujat ja pyörittäjät (Cambefort ja Hanski 1991). Suomessa näistä tavataan lantaläjiin munivia asujia ja maahan lantaa kaivavia ja munansa munivia kaivautujia. Kolmatta ryhmää, lantaläjästä lantapalloja kauemmas varastoon kuljettavia pyörittäjiä, ei ole tavattu Suomessa (Roslin ja Heliövaara 2009).

Lantakuoriaisten vähenemisen vaikutukset niiden tarjoamiin ekosysteemipalveluihin ovat vielä osittain epäselviä. Aikaisemmat kokeet viittaavat siihen, että eri toiminnallisten ryhmien häviämisellä on erilaiset seuraukset (mm. Larsen ym. 2005, Slade ym. 2007, Rosenlew ja Roslin 2008). Erityisesti sittiäisten (*Geotrupes* Latreille, 1796) puuttumisen on esitetty hidastavan lannan hajoamista oleellisesti (Rosenlew ja Roslin 2008).

Vaikka eri toiminnallisilla ryhmillä on havaittu olevan erilainen vaikutus ekosysteemien toimintaan, monimuotoisen lantakuoriaisyhteisön on todettu ylläpitävän tehokkaammin ekosysteemitointia ihmisen häiritsemässä ympäristössä kuin harvalajisen yhteisön (Beynon ym. 2012).

Monet lantakuoriaisten ekosysteemipalveluita käsittelevät tutkimukset perustuvat kuitenkin pienen mittakaavan manipulointeihin (esim. Macqueen ja Beirne 1975, Holter 1979, Gittings ym. 1994, Finn ja Giller 2000, O’Hea ym. 2000, Bang ym. 2005, Owen ym. 2006, Slade ym. 2007, Rosenlew ja Roslin 2008, Beynon ym. 2012, Dangles ym. 2012). Tämä saattaa vaikuttaa tutkittavien lantaläjien fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin ja tätä kautta lantakuoriaisten toimintaan. Monen lajin onkin todettu olevan herkkä pienilmastollisille ja muille pienen mittakaavan tekijöille (Menéndez ja Gutiérrez 2004, Roslin ym. 2009). Siksi lantakuoriaisten toimintaa on tärkeää tutkia myös niin, että pienen mittakaavan manipuloinnin aiheuttamat mahdolliset vaikutukset pyritään poistamaan.

Tässä tutkimuksessa seuran lantakuoriaisyhteisöjen toimintaa usean neliömetrin lantakuoriaisaitauksissa. Verkosta rakennetut aitaukset ovat päältä avoimia luonnollisen kaltaisten olosuhteiden saavuttamiseksi. Toimintatapa perustuu lantakuoriaisten oletettuun käyttäytymiseen, jonka mukaan ne eivät lennä kovin korkealla. Aitauksien esikuva tulee Brasiliassa sademetsäoloissa tehdystä esikokeesta, jossa samankaltaiset aitaukset havaittiin toimiviksi (Schiffler, T., Lousada, J. ja Barlow, J., julkaisematon). Vastaavien aitausten toimivuudesta avoimessa laidunympäristössä ei ole aiempia havaintoja. Tutkimuksellani on siten kolme tavoitetta:

- 1) seurata, toimivatko tällaiset lantakuoriaishäkit Suomen olosuhteissa,
- 2) tutkia erilaisten lantakuoriaisyhteisöjen vaikutusta lannan hajoamiseen ja laidunnurmen kasvuun sekä
- 3) selvittää, kuinka erilainen laidunpaine vaikuttaa lantaläjien painon alenemiseen ajan kuluessa.

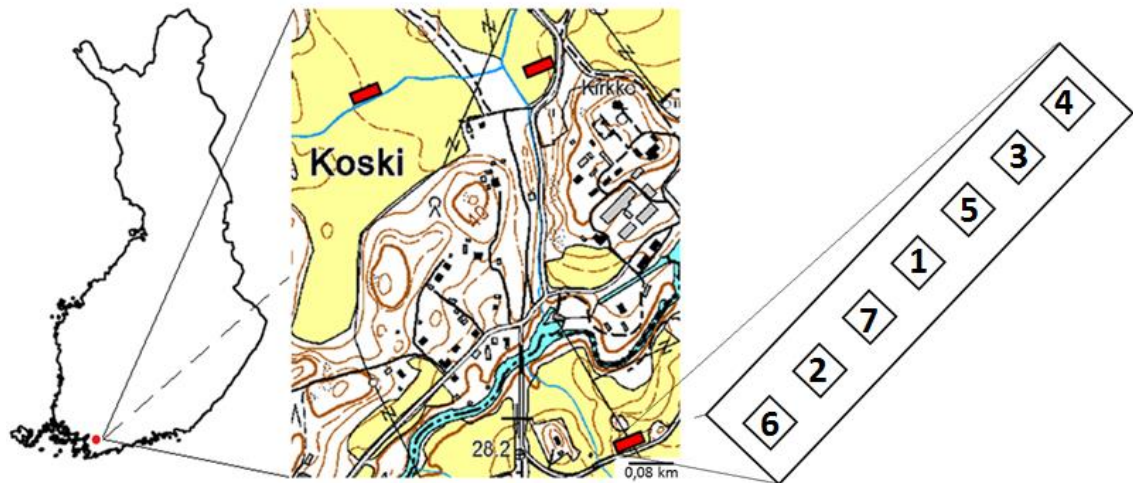
Ennusteeni ovat, että:

- 1) lanta hajoaisi nopeammin sittiäisten läsnä ollessa kuin lantiaisten,
- 2) lantakuoriaiset lisääisivät laidunnurmen kasvua ja

3) lanta hajoaisi nopeimmin korkean laidunpaineen alueilla, jolloin auringon säteet pääsevät tehokkaammin lämmittämään maan pintaa.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Selvittääkseni lantakuoriaisyhteisöjen koostumuksen vaikutuksen lannan hajoamiseen ja nurmen kasvuun tein laajan maastokokeen Salossa sijaitsevalla Kosken kartanolla (Kuva 1).



Kuva 1. Kokeen sijainti ja lohkorakenne. Koe tehtiin Kosken kartanolla ($60^{\circ}10'N$, $23^{\circ}17'E$) Varsinais-Suomen ja Uudenmaan rajalla. Jokainen kokeen kolmesta toistosta sijaitsi eri laitu-mella. Toistot on merkitty kartassa punaisilla laatikoilla. Eri aitauskäsittelyt olivat toistojen sisällä peräkkäin satunnaisessa järjestyksessä. (Suomen kartta, MapInfo; Peruskartta, © Maanmittauslaitos, 2010)

2.1 Koeasetelma

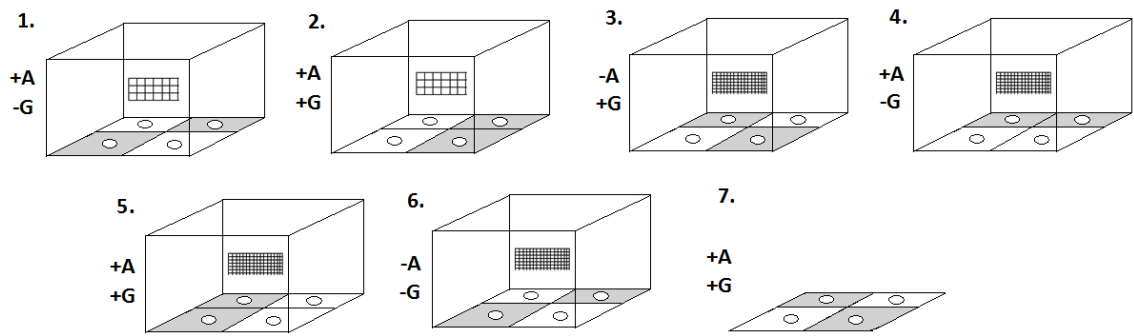
Pystyitin koetta varten kuusi erilaista verkosta rakennettua aitausta (Kuva 3). Erottaak-seni eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutuksen lannan hajoamiseen ja ravinteiden kiertoön muodostin erilaisia yhdistelmiä lantiaisista (*Aphodius* Illiger, 1798) ja sittiäisistä (*Geot-rupes*) seuraavin käsittelyin (ks. myös Kuva 2):

1. ”Lantiaisia ulkoa” käsittely. Tätä käsittelyä edustavat aitaukset rakensin verkosta, jonka silmäkoko oli 7x7 mm. En lisännyt näihin aitauksiin lainkaan lantakuoriaisia. Verkon tarkoitus oli toimia selektiivisesti niin, että lantiaiset mahtuisivat kulkemaan siitä läpi, mutta sittiäiset eivät. Tämä käsittely edusti tilannetta, jossa yksinään lantiaiset vaikuttivat lannan hajoamiseen ja lannan sisältämien ravinteiden kiertoon.
2. ”Lantiaisia ulkoa ja sittiäisiä sisältä” käsittely. Tätä käsittelyä edustavat aitaukset rakensin verkosta, jonka silmäkoko oli 7x7 mm. Lisäsin näihin aitauksiin sittiäisiä. Verkon tarkoitus oli sama kuin käsittelyssä 1. Tämä käsittely edusti tilannetta, jossa molemmat ryhmät vaikuttivat lannan hajoamiseen ja lannan sisältämien ravinteiden kiertoon.
3. ”Sittiäisiä sisältä” käsittely. Tätä käsittelyä edustavat aitaukset rakensin verkosta, jonka silmäkoko oli 0,8x0,8 mm. Lisäsin näihin aitauksiin sittiäisiä. Verkon tarkoitus oli estää kaikkien lantakuoriaisten sisään ja ulospääsy. Tämä käsittely edusti tilannetta, jossa yksinään sittiäiset vaikuttivat lannan hajoamiseen ja lannan sisältämien ravinteiden kiertoon.
4. ”Lantiaisia sisältä” käsittely. Tätä käsittelyä edustavat aitaukset rakensin verkosta, jonka silmäkoko oli 0,8x0,8 mm. Lisäsin näihin aitauksiin lantiaisia. Verkon tarkoitus oli sama kuin käsittelyssä 3. Tämä käsittely edusti tilannetta, jossa yksinään lantiaiset vaikuttivat lannan hajoamiseen ja lannan sisältämien ravinteiden kiertoon.
5. ”Lantiaisia ja sittiäisiä sisältä” käsittely. Tätä käsittelyä edustavat aitaukset rakensin verkosta, jonka silmäkoko oli 0,8x0,8 mm. Lisäsin näihin aitauksiin lantiaisia ja sittiäisiä. Verkon tarkoitus oli sama kuin käsittelyssä 3. Tämä käsittely edusti tilannetta, jossa molempien sukujen lajit vaikuttivat lannan hajoamiseen ja lannan sisältämien ravinteiden kiertoon.

6. Kontrolli. Tätä käsittelyä edustavat aitaukset rakensin verkosta, jonka silmäkoko oli 0,8x0,8 mm. En lisännyt näihin aitauksiin lainkaan lantakuoriaisia. Verkon tarkoitus oli sama kuin käsittelyssä 3. Käytin tätä käsittelyä vertailukohtana lantakuoriaisten vaikutusten erottamiseksi eli edustamaan tilannetta, jossa mikään lantakuoriaisryhmä ei vaikuttanut lannan hajoamiseen ja lannan sisältämien ravinteiden kiertoon.

7. ”Kaikki ulkoa” käsittely. Tätä käsittelyä edustavia alueita en aidannut lainkaan, joten kaikki seudulla luontaisesti esiintyvät lantakuoriaiset pääsivät lantaläjiin. Tämä käsittely ilmensi seudun luonnollista tilannetta lannan hajoamisen ja lannan sisältämien ravinteiden kierron suhteen.

Selvittääkseni miten laidunpaine vaikuttaa lannan hajoamiseen jaoin jokaisen aitauksen neljään osaan (2,0x2,0 m). Leikkasin neljästä osaruudusta kahden satunnaisesti valitun ruudun nurmen noin viikon välein 15 cm korkuisesta 7 cm korkuiseksi. Tämän käsittelyn tarkoituksena oli kuvata korkeaa laidunpainetta. Toisissa kahdessa ruudussa annoin nurmen kasvaa ja leikkasin sen ainoastaan kerran kesässä 20 cm mittaiseksi. Leikattaessa nurmi oli keskimäärin 70 cm korkuista. Käsittelyn tarkoituksena oli kuvastaa alhaista laidunpainetta. Kummassakin tapauksessa keräsin leikatun nurmen pois. Seurasin laidunpaineen vaikutusta lannan hajoamiseen punnitsemalla lantaläjiä tietyin väliajoin. Lisäksi mittasin kerran kokeen aikana maan kosteuden ja lämpötilan lantaläjien alta seuratakseni, kuinka nämä vasteet vaikuttivat lannan hajoamisnopeuteen pitkässä ja lyhyessä nurmessa.



Kuva 2. Kokeen rakenne. Koe muodostui kuudesta verkosta rakennetusta aitaustyypistä (käsitteilyt 1-6), joiden lantakuoriaisyhteisöjä manipuloitiin. Vertailukohtana kokeessa seurattiin lannan hajoamista myös aitaamattomilla alueilla (käsitteily 7). Jokainen aitaus jaettiin neljään ruutuun, joista kahden satunnaisesti valitun ruudun nurmi ajettiin noin viikon välein (valkoinen) ja kahden vain kerran kesässä (harmaa). Jokaisen ruudun keskellä oli yksi lantaläjä, joten läjiä oli neljä aitausta kohden. Kuvassa aitausten keskellä näkyy verkkojen silmäkoot. Verkkojen tarkoitus oli säädellä *Aphodius* (A) ja *Geotrupes* (G) -sukujen yksilöiden liikkumista aitausten sisä- ja ulkopuolen välillä. Plusmerkillä kuvataan sitä tai niitä sukuja, jotka laitettiin aitaukseen tai joiden oletettiin pääsevän sinne verkon läpi. Miinusmerkillä kuvattiin sukua tai sukuja, joita ei laitettu aitaukseen, eikä oletettu pääsevän aidan läpi.



Kuva 3. Koeaitaukset luonnossa. Vasemman puolen kuvassa näkyy pienempisilmäisestä verkosta rakennettuja aitauksia ja oikealla puolella etummaisena näkyy suurempisilmäisestä verkosta rakennettu aitaus. (Kuvaan on piirretty punaisella aitausten rajat, sillä musta verkko ei erotu kunnolla valokuvassa.)

Jokainen aitaus oli pinta-alaltaan 16 m² (4,0x4,0 m). Tiheämpiverkkoisten aitausten korkeus oli 195 cm ja muiden 190 cm. Aitaukset olivat päältä avoimia, sillä oletin, etteivät lantakuoriaiset lentäisi niin korkealla. Taitoin tiheämmän verkon alareunasta sisäänpäin 15 cm verran ja laitoin reunan päälle hiekkaa painoksi, jotta lantakuoriaiset

eivät pääsisi kulkemaan verkon alta. Taitoin suurempisilmäistä verkkoa alareunasta noin 10 cm verran ja kiinnitin maahan rautalankakoukuilla. Lisäksi laitoin reunan päälle hiekkaa tiivisteksi. Kaikissa aitauksissa oli samassa kohtaa ovi, jonka alareunasta kaivoin verkon maahan. Saadakseni selville seudun luonnollisen lannan hajoamisnopeuden lisäsin kokeeseen yhden aitaamattoman alueen, joka vastasi pinta-alaltaan härkejä (käsittely 7).

Aitaukset ja aitaamaton alue sijoitettiin peräkkäin satunnaisessa järjestyksessä neljän metrin päähän toisistaan (Kuva 1). Alue aidattiin sähköpaimenella, jotta laitumella olevat lehmät eivät pääsisi hajottamaan aitauksia. Aitaurivistön ja sähköaidan väliin jäi kolme metriä tilaa ja päädyissä olevien aitauksien tai aitaamattoman alueen ja sähköaidan väliin jäi 1,5 metriä. Erottaakseni ympäristön vaikutuksen käsittelyistä tein kolme toistoa. Siten aitauksia oli yhteensä 18 ja aitaamattomia alueita 3. Jokainen toisto sijoitettiin eri laitumelle (Kuva 1).

2.2 Kokeen eteneminen

Toukokuun 10. päivä keräsin kokeessa käytetyn lannan navetasta, jotta siinä ei olisi lantakuoriaisia ennestään. Pakastin lannan 1,2 litran annospusseina ja sulatin sen juuri ennen käyttöä. Läjien keskimääräinen paino oli 974 g (SE 24 g). Toukokuun 30. päivänä (ennen kokeen alkamista) laitoin jokaiseen aitaukseen yhden syöttiläjän, jonka tarkoitus oli houkutella aitauksien sisälle mahdollisesti jääneet lantakuoriaiset. Muutaman vuorokauden kuluttua poistin nämä läjät aitauksista.

Kokeen alkaessa sijoitin jokaisen osaruudun keskelle punnitun lantaläjän (Kuva 4). Läjät sijaitsivat metrin päässä aitauksen reunoista ja kahden metrin päässä toisistaan. Laitoin läjien alle kanaverkosta leikatut neliöt, jotka mahdollistivat läjien nostamisen vaa'alle.



Kuva 4. Kokeessa käytetyt lantaläjät. Vasemmalla puolella näkyy lantaläjien sijoittuminen aitausten sisällä. Kuva on otettu suurempisilmäisen verkon läpi. Kuvassa oikealla puolella näkyy koeläjä nostamista helpottavan kanaverkon päällä. Muoviputken tarkoitus on ohjata aitauksiin vapautettavat lantakuoriaiset tunkeutumaan lantaan, jotta ne eivät lähtisi vapauttamisen yhteydessä suoraan lentoon.

Toukokuun lopussa keräsin kokeessa käytetyt lantaisia ja sittiäisiä. Jotta käytetyt lantakuoriaismäärät vastaisivat seudun luonnollista tiheyttä, keräsin lantaisia yhtä monesta läjästä, mihin sijoitin ne kokeessa. Laitoin vapautettavat lantakuoriaiset muoviputkiin. Jotta lantakuoriaiset eivät lähtisi suoraan lentoon, asetin putket aitauksissa lantaläjiin niin, että kuoriaisten oli pakko tunkeutua lantaan (Kuva 4). Lisäsin käsittelyihin 4 ja 5 lantaisia yhteensä 172 kappaletta aitausta kohden. Käsittelyihin 2, 3 ja 5 lisäsin kahdeksan metsäsittiäistä (*Geotrupes stercorosus* (Scriba, 1791)) aitausta kohden (Taulukko 1). Jaoin lantakuoriaiset aitauksissa tasan neljän läjän kesken.

Taulukko 1. Aitauksiin laitettujen lantakuoriaisyhteisöjen lajikoostumukset (yksilömäärä) eri käsittelyissä (ks. Kuva 2). Taulukossa jokainen rivi osoittaa yhteen aitaukseen laitettujen yksilöiden lukumäärän. Aitauksissa lantakuoriaiset jaettiin tasan neljään lantaläjiin.

Käsittely	<i>A. ater</i> (DeGeer, 1774)	<i>A. erraticus</i> (Linnaeus, 1758)	<i>A. fossor</i> (Linnaeus, 1758)	<i>A. haemorhoidales</i> (Linnaeus, 1758)	<i>A. pedellus</i> (DeGeer, 1774)	<i>A. pusillus</i> (Herbst, 1789)	<i>G. stercorosus</i>
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	8
3	-	-	-	-	-	-	8
4	12	116	20	12	4	8	-
5	12	116	20	12	4	8	8
6	-	-	-	-	-	-	-

Arvioidakseni koeaitausten toimivuuden vertasin lantakuoriaistiheyksiä aitausten sisä- ja ulkopuolella neljä kertaa kokeen aikana. Tarkkailin lantakuoriaisten ulos- ja sisään-pääsyä syöttiläjien avulla. Laitoin neljä navetasta keräämääni lantaläjää kunkin kontrollikäsittelyn (käsittely 6) ulko- ja sisäpuolelle, sillä halusin vertailla aitauksiin sisälle päässeiden kuoriaisten määrää ulkopuolella olevaan luontaiseen määrään. Käytin vertailuun kontrollikäsittelyn aitauksia, koska niiden sisällä ei ollut tarkoitus olla lainkaan kuoriaisia. Koskelan ja Hanskin (1979) menetelmää soveltaen upotin aitauksiin laittamani syöttiläjät vesiämpäreihin vajaan viikon päästä (tarkka ajankohta riippui säästä). Keräsin pinnalle ilmestyneet kuoriaiset talteen ja laskin yksilöt lajeittain.

Lantakuoriaisyhteisöjen ja laidunpaineen vaikutusta lannan hajoamiseen seurasin punnitsemalla läjät aluksi 9 päivän välein ja myöhemmin 10 päivän välein. Koska läjät olivat tuoretta, kosteaa lantaa, niiden painon lasku kuvasti niin lannan kuivumista kuin varsinaista lannassa asuvien lajien aiheuttamaa poistumaa ja/tai hajotustoimintaa (esim. Wall ja Strong 1987, Rosenlew ja Roslin 2008). Punnitsin läjät alusverkkojen kanssa kokeen aikana yhteensä 6 kertaa alkupunnituksen jälkeen. Vähensin lannan painosta aina verkon painon. Lisäksi mittasin kerran (27.7.) kokeen aikana maan kosteuden ja lämpötilan lantaläjien alta seuratakseni, kuinka nämä muuttujat vaikuttavat lantakuoriaisten toimintaan, ja kuinka nurmen korkeus vaikutti niihin.

Eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutusta nurmen kasvuun selvitin kahdella tapaa: selvittääkseni vaikuttavatko eri lantakuoriaisyhteisöt läjiä ympäröivän nurmen kasvuun, mittasin biomassan jokaisen läjän ympäriltä. Tätä tarkoitusta varten leikkasin kokeen lopuksi nurmen 42 cm halkaisijalta lantaläjien ympäriltä. Oletin läjien alla olevan kuolleeseen nurmen alan olevan vakio, sillä läjät olivat alun perin samankokoisia. Kuivasin kerätyn biomassan (48 h, 70 °C) ja punnitsin sen.

Seuratakseni lisäksi lantakuoriaisyhteisöjen vaikutusta lannan ravinteiden kiertoon suoraan lantaläjien alla kaivoin maata 15 cm halkaisijalta ja 7 cm syvyydeltä läjien alta. Laitoin sekoitetun maan ruukkuun, jonka halkaisija oli 15 cm. Toistin saman kaikkien läjien alusien kohdalla. Istutin jokaiseen ruukkuun 3 g englanninraiheinän (*Lolium perenne*, Linnaeus 1753) siemeniä (itävyys 96 %). Jätin ruukut niille kolmelle eri laitumelle, joissa eri toistot sijaitsivat, jotta niiden kasvuolot eivät eroaisi käsittelyiden välillä. Kastelin kasvustoja sääoloista riippuen niin, että ne pysyivät kosteana. Kasvustot

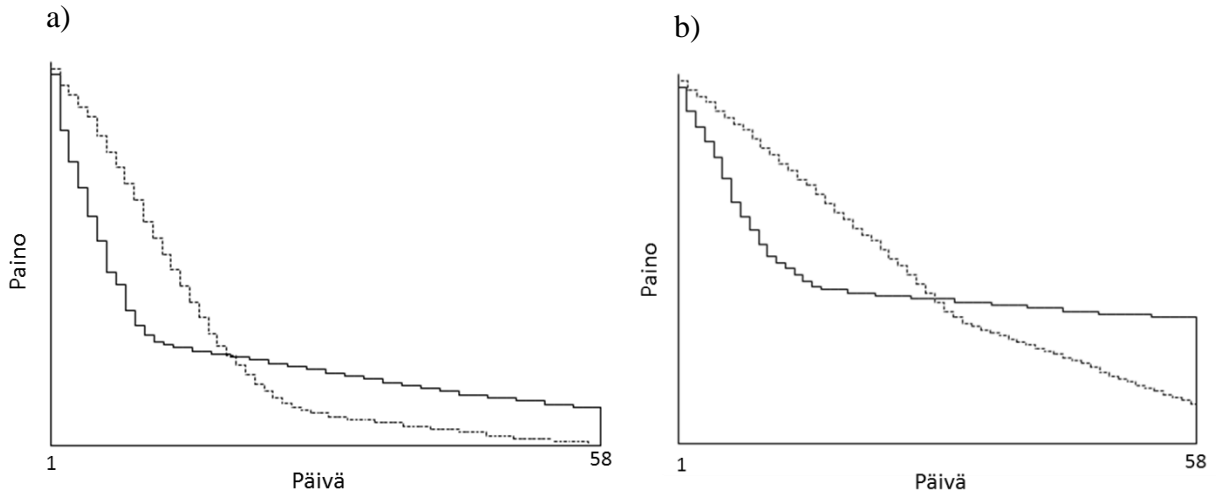
saivat kasvaa neljä viikkoa, jonka jälkeen leikkasin ne tyvestä elokuun viimeisenä päivänä. Lopuksi kuivasin (48 h, 80 °C) ja punnitsin biomassan.

2.3 Tilastolliset menetelmät

Testatakseni aitaustyypin ja laidunpaineen vaikutuksen nurmen biomassaan, maan kosteuteen ja lämpötilaan sovitin sarjan vastekohtaisia yleistettyjä lineaarisia sekamalleja (Breslow ja Clayton, 1993). Jokaisen yksittäisen vasteen mallinsin aitaustyypin, ruohon pituuden ja näiden yhdysvaikutuksen funktiona. Huomioidakseni lohko- ja aitaustason vaihtelun liitin malliin lohkon ja aitaustyypin (pesitettyinä lohkon sisälle) satunnaistekijöinä. Kaikki mallit sovitin ohjelmassa SAS for Windows v. 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Testatakseni eri lantakuoriaisyhteisöjen ja laidunpaineen vaikutuksen lantaläjien painokehitykseen sovitin toisen yleistetyn lineaarisen sekamallin. Mittauskertakohtaiset painohavaintoni mallinsin mittauskerran, aitaustyypin, ruohon pituuden ja näiden kahden ja kolmisuuntaisten yhdysvaikutusten funktiona. Huomioidakseni lohko- ja aitaustason vaihtelun liitin malliin lohkon ja aitauksen (pesitettyinä lohkon sisälle) satunnaistekijöinä. Ottaakseni huomioon riippuvuuden peräkkäisten havaintojen välillä oletin ensimmäisen asteen ante-riippuvuusrakennetta (TYPE=ANTE(1)) (Moser 2004).

Täydentääkseni ja selventääkseni edellistä analyysia sovitin yleistetyn lineaarisen sekamallin yksinkertaisempaan vasteeseen eli siihen pinta-alaan, joka jää läjien päivittäisten painojen kuvaajan alle (vrt. Kuva 5). Pinta-ala ilmensi läjien hajoamista koko kokeen aikana. Suure kuvaa epäsuorasti lannan hajoamisnopeutta. Mitä suurempi se oli, sitä hitaammin lanta oli hajonnut ja päinvastoin mitä pienempi pinta-ala oli, sitä nopeammin lanta oli hajonnut (Kuva 5). Yksinkertaisuuden vuoksi kutsun tätä suuretta jatkossa lantaläjien ”päiväkohtaisten painojen kertymäfunktiksi”. Koska tällä saavutin yhden mittan kutakin lantaläjää kohden, saatoin sovittaa yksinkertaisempaa mallia eli samaa mallia kuin nurmen biomassan, maan kosteuden ja lämpötilan kohdalla.



Kuva 5. Lantaläjien päiväkohtaisten painojen kertymäfunktion ominaisuuksia. Pienempi arvo kuvaa keskimäärin nopeampaa hajoamista (a) kuin suurempi arvo (b). Pienen arvon voi kuitenkin tuottaa sekä nopea hajoaminen tiettyyn tasoon (yhtenäinen viiva), että hitaampi hajoaminen alhaisempaan loppupainoon (katkoviiva). Kuvan osissa a ja b yhtenäisen ja katkonaisen viivan alle jää sama pinta-ala. Kertymäfunktion pinta-ala ei siis ota huomioon, milloin lantaläjät ovat keventyneet. Näin ollen monet erot häviävät, kun käsittelyitä ei verrata toisiinsa jokaisena mittauskertana erikseen. Tämän vuoksi analyysi ei ole niin herkkä kuin mittauskertakohtainen analyysi. Analyysin tarkoitus on selvittää pääpiirteitä, jolloin herkempää mittauskertakohtaista analyysia voi käyttää tarkempaan tarkasteluun.

3 TULOKSET

3.1 Koeaitausten toimivuus

Kokeen alussa kontrollikäsitellyn koeaitausten pienisilmäiset verkot estivät tehokkaasti lantakuoriaisten kulkemisen verkon sisä- ja ulkopuolen välillä. Kokeen edetessä lantakuoriaisten määrä aitausten sisäpuolella kasvoi jokaisella mittauskerralla suhteessa aitausten ulkopuolella mitaamiini tiheyksiin, mutta oli viimeisellä mittauskerrallakin aitausten sisäpuolella vain reilu neljännes ulkopuolen tiheydestä (Taulukko 2). Tällöin kaikki aitausten sisäpuolelta löytämäni kuoriaiset olivat kuitenkin samaa lajia (kaarilantainen, *A. rufipes* (Linnaeus, 1758)).

Taulukko 2. Kontrollikäsitellyn lantakuoriaisaitausten toimivuus. Syötiläjästä kerättyjen lantakuoriaisten määrät koeaitausten ulko- ja sisäpuolelta sekä suhdeluku ([runsaus sisäpuolella]/[runsaus ulkopuolella]) neljänä eri ajankohtana. Suluissa on ilmoitettu runsaimman lajin yksilömäärä ja perässä oleva kirjain ilmaisee, mikä laji on kyseessä: a = *A. erraticus*, b = *A. pedellus*, c = *A. ater*, d = *A. rufipes*.

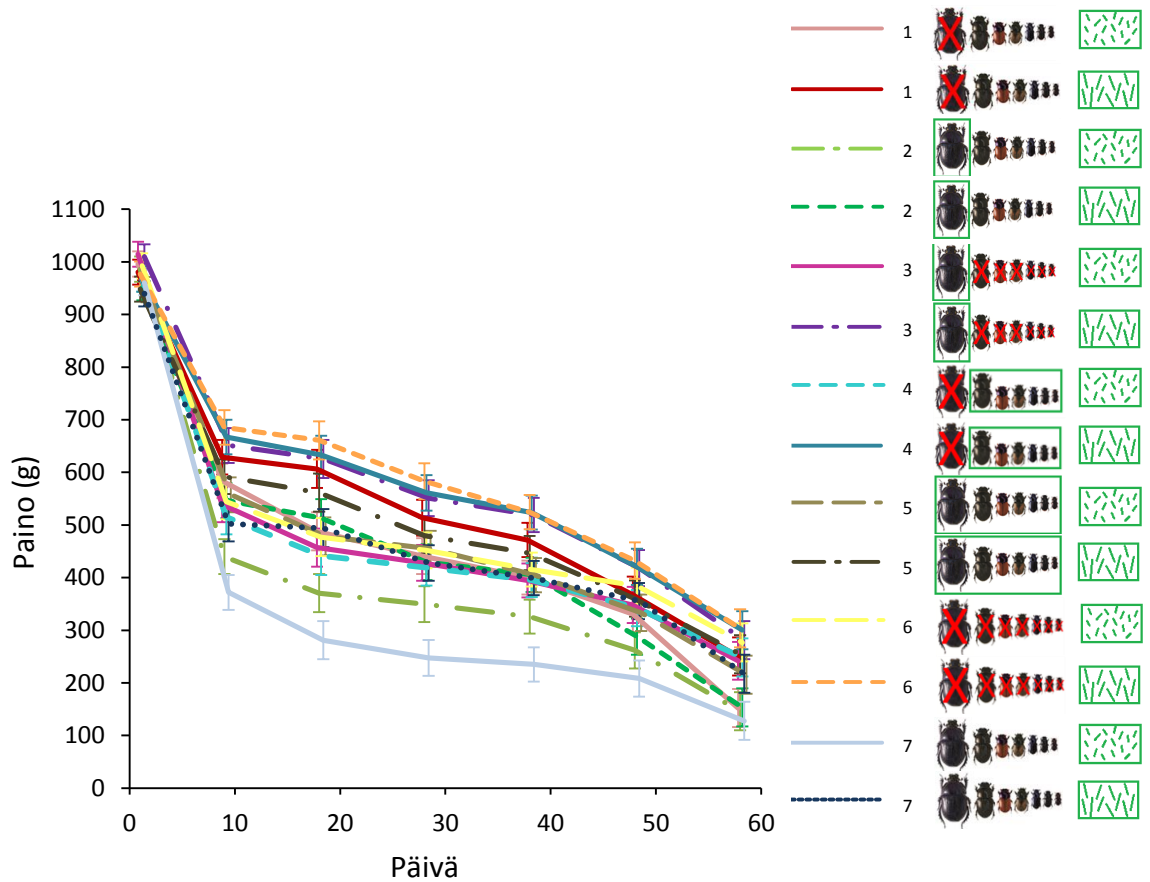
lasku-päivä	lantakuoriaisten määrä (kpl)		suhdeluku (%)
	ulkopuoli	sisäpuoli	
8.6.	437 (228) ^a	16 (7) ^b	4
28.6.	32 (14) ^c	2 (2) ^c	6
5.7.	44 (23) ^c	5 (3) ^c	11
31.7.	29 (27) ^d	8 (8) ^d	28

3.2 Lantaläjien painon kehitys

Kokeen aikana lantaläjien paino aleni merkittävästi, kun painoa tarkasteltiin mittausker-takohtaisesti (Kuva 6). Eri lantakuoriaisyhteisöjen läsnä ollessa lannan hajoamisnopeus vaihteli tilastollisesti merkitsevästi (Taulukko 3). Eri käsittelyiden suhteelliset erot ka-ventuivat kuitenkin eri mittauskertojen välillä. Lisäksi ruohon pituus vaikutti lannan painoon tilastollisesti merkitsevästi aitaustyypistä riippumatta (Taulukko 3, Kuva 6).

Taulukko 3. Yleistetty lineaarinen sekamalli lannan painosta aitaustyypin, mittauskerran, ruo-hon pituuden sekä näiden kaksi- ja kolmisuuntaisten yhdysvaikutusten funktiona. Taulukossa on esitetty kiinteiden vaikutusten *F*-suhteet ja niihin liittyvät *P*-arvot. Lohko- ja häkkitason vaihte-lun sisällytin malliin satunnaistekijöinä (ks. tarkempi kuvaus tekstin osassa 2.3).

Lähde	F	ndf	ddf	P
Aitaustyyppi	8,00	6	27,9	<0,0001
Mittauskerta	1203,04	6	125	<0,0001
Ruohon pituus	51,35	1	65	<0,0001
Aitaustyyppi × ruohon pituus	1,12	6	65	0,36
Aitaustyyppi × mittauskerta	1,90	36	26	0,002
Ruohon pituus × mittauskerta	19,73	6	125	<0,0001
Aitaustyyppi × ruohon pituus × mittauskerta	0,83	36	26	0,74

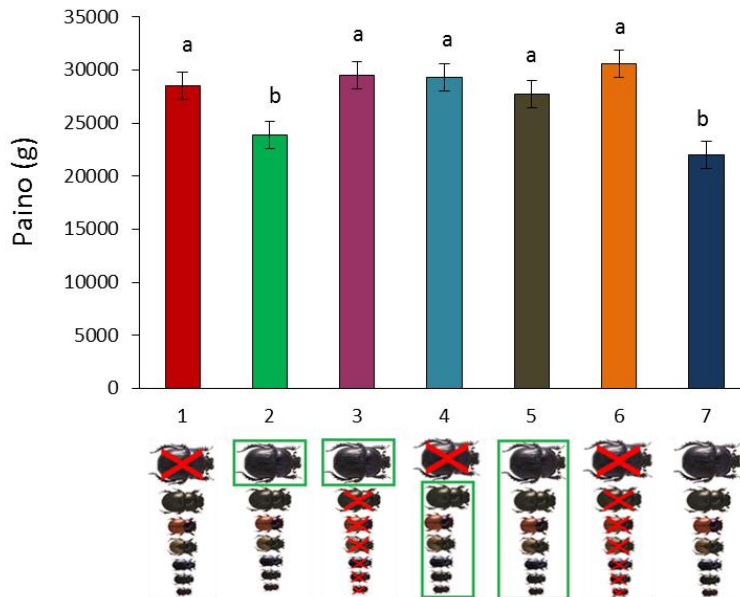


Kuva 6. Lantaläjien painokehitys eri käsittelyissä. Kuvassa on esitetty Taulukossa 3 kuvatun yleistetyn lineaarisen sekamallin sovitettuja keskipainoja (sekä virhejanoina näiden keskiarvojen keskivirheet, SE). Eri lantakuoriaisyhteisöistä muodostetut käsittelyt on merkitty eri värein. Vihreä kehys kuvaa käsittelyihin lisättyjä ja punainen rasti pois suljettuja lantakuoriaisia. Ilman merkintää olevat kuoriaiset pääsivät aitauksiin itse (ks. myös Kuva 2). Nurmen pituus eri käsittelyissä on kuvattu vihreillä merkeillä. (Lantakuoriaiskuvat: Kari Heliövaara)

Käsittelyiden väliset erot lannan painon kehityksessä ilmenee myös eroina lannan päiväkohtaisten painojen kertymäfunktioissa, joka vaihteli tilastollisesti merkitsevästi eri aitaustyypeissä (Taulukko 4, Kuva 7). Myös ruohon pituus vaikutti merkitsevästi lannan painon kertymäfunktioon aitaustyypistä riippumatta (Taulukko 4).

Taulukko 4. Yleistetty lineaarinen sekamalli lannan päiväkohtaisten painojen kertymästä aitaustyypin, ruohon pituuden sekä näiden yhdysvaikutuksen funktiona. Taulukossa on esitetty kiinteiden vaikutusten F -suhteet ja niihin liittyvät P -arvot sekä satunnaisvaikutusten varianssit.

Lähde	Varianssi	F	ndf	ddf	P
Aitaustyyppi		7,46	6	12	0,002
Ruohon pituus		62,39	1	56	<0,0001
Aitaustyyppi x ruohonpituus		1,39	6	56	0,23
Toisto	902597				
Toisto (aitaustyyppi)	1746478				
Jäännösvaihtelu	9499641				

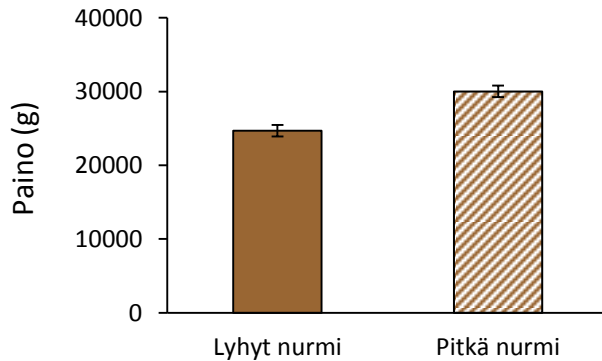


Kuva 7. Lantaläjien päiväkohtaisten painojen kertymäfunktioiden keskiarvot ja näiden keskivirheet (SE) eri käsittelyissä. Kirjaimet määrittelevät toisistaan merkitsevästi eroavat käsittelyt. Jos käsittelyt eivät jaa samaa kirjainta, ne eroavat toisistaan ($P < 0,05$). Lantakuoriaisten ympärillä vihreä kehys kuvaa käsittelyihin lisättyjä ja punainen rasti pois suljettuja lantakuoriaisia. Ilman merkintää olevat kuoriaiset pääsivät aitauksiin itse (ks. myös Kuva 2). (Lantakuoriaiskuvat: Kari Heliövaara)

3.2.1 Laidunpaineen vaikutus lannan painon kehitykseen

Eri laidunpainetta kuvaava nurmen pituus vaikutti lantaläjien painokehitykseen merkittävästi (Taulukko 3, Taulukko 4). Aitaustyyppien sisällä pitkässä nurmessa olleiden läjien paino aleni lähes poikkeuksetta hitaammin kuin lyhyessä nurmessa olleiden läjien

paino (Kuva 6, Kuva 8). Erot pitkän ja lyhyen nurmen välillä tulivat esille erityisesti kokeen puoleen väliin saakka, jonka jälkeen erot lantakuoriaiskäsittelyiden sisällä kapeenivat (Kuva 6, Kuva 9).



Kuva 8. Lantaläjien päiväkohtaiset kertymäfunktiot nurmen pituuden keskiarvoina ja näiden keskivirheet (SE).

3.2.2 Eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutus lannan painon kehitykseen

Nopeimmin kokeen aikana kevenivät ”kaikki ulkoa” käsittelyn (käsittely 7) lyhyessä nurmessa sijainneet läjät, kun taas painavimmat läjät kokeen lopussa olivat kontrollin (käsittely 6) pitkässä nurmessa olleet läjät (Kuva 6). Verrattaessa lannan painon alenemista mittauskertakohtaisesti aitauksissa, joihin lantiaissuvun eri lajit pääsivät vapaasti verkon läpi (käsittelyt 1-2), tehokkaimmin lantaa hajottivat sittiäiset ja lantiaiset yhdessä lyhyessä nurmessa olleissa läjissä (Kuva 6, Kuva 9). Sittiäisten poistaminen hidasti lannan hajoamista. Pitkässä nurmessa olleissa läjissä ero näiden kahden käsittelyn välillä jäi kapeammaksi, vaikka sittiäisten ja lantiaisten yhdessä asuttamat läjät (käsittely 2) olivat kaikilla mittauskerroilla kevyempiä kuin läjät, joissa oli pelkästään lantiaisia (käsittely 1). Pitkässä nurmessa käsittelyn 2 lantaläjät olivat kuitenkin tilastollisesti merkittävästi kevyempiä kuin käsittelyn 1 läjät ainoastaan toisella mittauskerralla kokeen 18. päivä (Kuva 9).

Mittauskertakohtaisessa tarkastelussa käsittelyiden 3-5 välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja lannan painon suhteen ensimmäistä punnituskertaa lukuun ottamatta (Kuva 6). Tällöin lanta oli hajonnut nopeimmin lyhyessä nurmessa käsittelyissä, joissa oli

pelkästään lantiaisia (käsittely 4) tai sittiäisiä (käsittely 3) verrattuna käsittelyihin, joissa oli molempia sukuja (käsittely 5). Pitkässä nurmessa olleiden läjien välillä ei ollut tilastollisia eroja.

Lannan päiväkohtaisten painojen kertymäfunktioita tarkasteltaessa ainoastaan käsittely 2 ja 7 erosivat tilastollisesti muista käsittelyistä (Kuva 7). Käsittelyiden 1 ja 2 välillä oli havaittavissa sama ero kuin mittauskertakohtaisessakin analyysissä (vrt. Kuva 6).

3.2.3 Samankaltaisten yhteisöjen vaikutus lannan painon kehitykseen eri käsittelyissä

Kokeessa oli kaksi samankaltaiset lantakuoriaisyhteisöt sisältävää käsittelyparia (käsittelyt 2 ja 5 sekä 1 ja 4). Näiden parien sisällä koekäsittelyt erosivat toisistaan siinä, miten lantakuoriaiset pääsivät koeläjille: toisessa tapauksessa lantiaiset oli laitettu aitaukseen ja toisessa niiden oletettiin pääsevän sinne itse. Käsittelyiden 2 ja 1 aitaukset olivat rakennettu suurempisilmäisestä verkosta ja käsittelyiden 4 ja 5 aitaukset olivat rakennettu pienempisilmäisestä verkosta. Verrattaessa käsittelyitä toisiinsa lannan kevenemisen suhteen ilmenee, että käsittelyssä 2 (”lantiaisia ulkoa ja sittiäisiä sisältä”) lanta hajosi nopeammin kuin käsittelyssä 5 (”lantiaisia ja sittiäisiä sisältä”) (Kuva 7, Kuva 9). Käsittelyiden 1 (”lantiaisia ulkoa”) ja 4 (”lantiaisia sisältä”) välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti havaittavaa eroa lannan painon kehityksen suhteen (Kuva 7, Kuva 9).

Käsittely	Käsittelyn nimi	Lantakuoriaiset	Nurmi	päivä 1	päivä 9	päivä 18	päivä 28	päivä 38	päivä 48	päivä 58
6	Kontrolli			a..b..c.....	a.....	a.....	a.....	a.....	a.....	a.....
4	Lantaisia sisältä			a..b..c.....	a.....	a..b.....	a..b.....	a.....	a..b.....	a.....
3	Sittiäisiä sisältä			a.....	a.....	a..b.....	a..b.....	a.....	a..b..c.....	a.....
1	Lantaisia ulkoa			a..b..c.....	a..b.....	a..b.....	a..b..c.....	a..b.....	a..b..c..d.....	a.....
5	Lantaisia ja sittiäisiä sisältä			...b..c.....	a..b.....	..b..c.....	..b..c..d.....	a..b.....	a..b..c..d.....	a.....
5	Lantaisia ja sittiäisiä sisältä			...b..c.....	..b.....	.....c..d.....	.....c..d.....	..b.....	.....c..d..e.....	a..b..c..d....
6	Kontrolli			a..b..c.....	..b..c.....	.....c..d.....	.....c..d.....	..b.....	a..b..c.....	a.....
1	Lantaisia ulkoa			a..b.....	a..b.....	.....c..d.....	.....c..d.....	..b..c.....	.....c..d..e.....	a.....
2	Lantaisia ulkoa ja sittiäisiä sisältä			...b..c.....	..b..c.....	.....c..d.....	.....c..d..e.....	..b.....	.....d..e..f....	..b..c..d....
7	Kaikki ulkoa			.....c.....	..c..d.....	.....c..d.....	.....c..d..e.....	..b..c.....	a..b..c..d.....	a..b..c.....
3	Sittiäisiä sisältä			a.....	..c.....	.....d..e.....	.....c..d..e.....	..b..c.....	a..b..c..d..e.....	a..b.....
4	Lantaisia sisältä			a..b..c.....	.....c..d.....	.....d..e.....	.....d..e.....	..b..c.....	..b..c..d..e.....	a.....
2	Lantaisia ulkoa ja sittiäisiä sisältä			a..b..c.....	.....d..e.....	.....e..f.....	.....e.....	..c.....	.....e..f.....	.....c..d....
7	Kaikki ulkoa			...b..c.....	.....e.....	.....f.....	.....f.....	.....d.....	.....f.....	.....d.....

Kuva 9. Kokeessa taulukossa 3 kuvatun mallin perusteella eri käsittelyiden välillä havaitut tilastollisesti merkitsevät painoerot. Kirjainkoodit määrittelevät kunkin mittauskerran sisällä toisistaan merkitsevästi eroavat käsittelyt. Jos kaksi käsittelyä eivät jaa samaa kirjainta, ne eroavat toisistaan ($P < 0.05$). Käsittelyiden järjestys perustuu päivän 28 tuloksiin, jolloin erot olivat suurimmillaan (vrt. Kuva 3). Vihreä kehys kuvaa käsittelyihin lisättyjä ja punainen rasti pois suljettuja lantakuoriaisia. Ilman merkintää olevat kuoriaiset pääsivät aitauksiin itse. Nurmen pituus on kuvattu vihreillä merkeillä. (Lantakuoriaiskuvat: Kari Heliövaara)

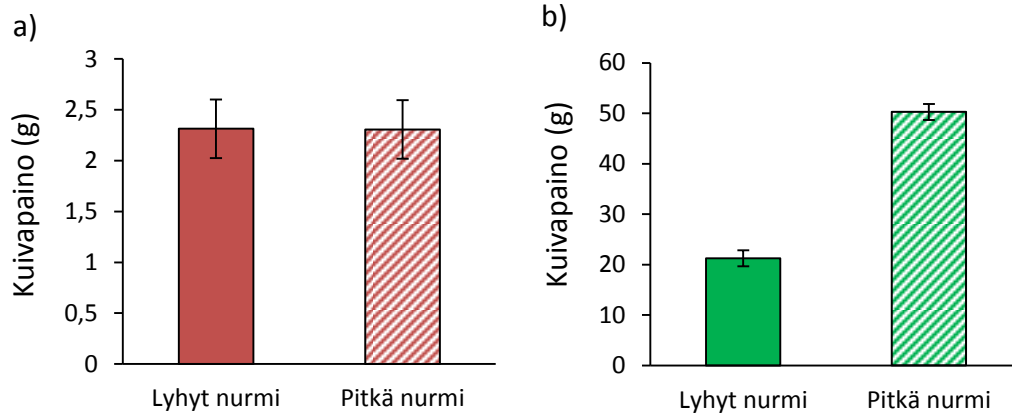
3.3 Lantakuoriaisten vaikutus nurmen biomassaan

Nurmen biomassan tuotanto ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi eri koekäsittelyiden välillä (Kuva 10): lantaläjien alta kaivettuun maahan kylvetyn rairuohon painoon ei tilastollisesti havaittavasti vaikuttanut aitaustyypin eikä koeruutujen nurmen pituuskaan (Taulukko 5a, Kuva 10a). Nurmen leikkaaminen vaikutti luonnollisesti läjien ympäriltä leikatun nurmen painoon, mutta aitaustyypillä ei ollut tässäkään tapauksessa havaittavaa vaikutusta (Taulukko 5b, Kuva 10b).

Taulukko 5. Yleistetty lineaarinen sekamalli a) läjien alta kerätyssä maassa kasvatetun rairuohon ja b) läjien ympäriltä kerätyn nurmen kuivapainosta aitaustyypin, ruohon pituuden sekä näiden yhdysvaikutuksen funktiona. Taulukossa on esitetty kiinteiden vaikutusten F -suhteet ja niihin liittyvät P -arvot sekä satunnaisvaikutusten varianssit.

a)	Lähde	Varianssi	F	ndf	ddf	P
	Aitaustyypin		0,53	6	12	0,77
	Ruohon pituus		0,00	1	56	0,94
	Aitaustyypin × ruohon pituus		0,38	6	56	0,89
	Toisto	0,23				
	Toisto (aitaustyypin)	0,02				
	Jäännösvaihtelu	0,24				

b)	Lähde	Varianssi	F	ndf	ddf	P
	Aitaustyypin		0,75	6	69	0,61
	Ruohon pituus		164,45	1	69	<0,0001
	Aitaustyypin × ruohon pituus		0,68	6	69	0,67
	Toisto	<0,01				
	Toisto (aitaustyypin)	<0,01				
	Jäännösvaihtelu	106,51				



Kuva 10. Lantaläjien a) alta kerätyssä maassa kasvatetun rairuohon ja b) ympäriltä vakioidulta pinta-alalta kerätyn nurmen kuivapainon keskiarvot ja näiden keskivirheet (SE). Koska eri aitauskäsittelyt eivät eronneet tilastollisesti havaittavasti toisistaan, näytetään kuvassa yli kaikkien käsittelyiden arvioitu yhteinen keskiarvo eri nurmen pituuksissa.

3.4 Maan vesipitoisuus ja lämpötila

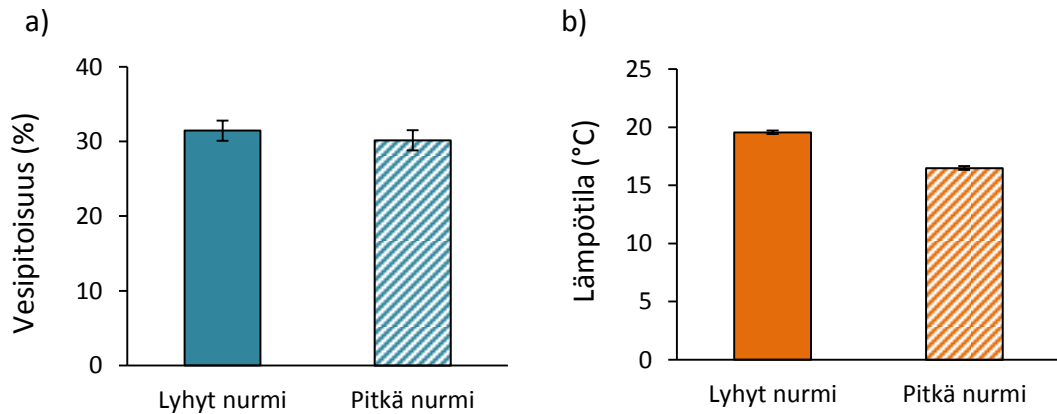
Lantaläjien alta mitattu maan vesipitoisuus ja lämpötila eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi eri aitaustyypin välillä (Taulukko 6). Sen sijaan nurmen pituus vaikutti niin vesipitoisuuteen kuin lämpötilaan (Kuva 11). Maan vesipitoisuus oli keskimäärin 1,3 % korkeampi lyhyen nurmen läjien alla kuin pitkässä nurmessa (Kuva 11a). Maan lämpötila taas oli keskimäärin 3,1 °C korkeampi lyhyessä nurmessa olleiden läjien alla kuin pitkässä nurmessa (Kuva 11b).

Lantaläjät kevenivät kokeen aikana jonkin verran enemmän maan lämpötilan kasvaessa (Kuva 12a). Hävinneen massan ja maan vesipitoisuuden välillä ei kuitenkaan ole tilastollisesti havaittavaa suhdetta (Kuva 12b).

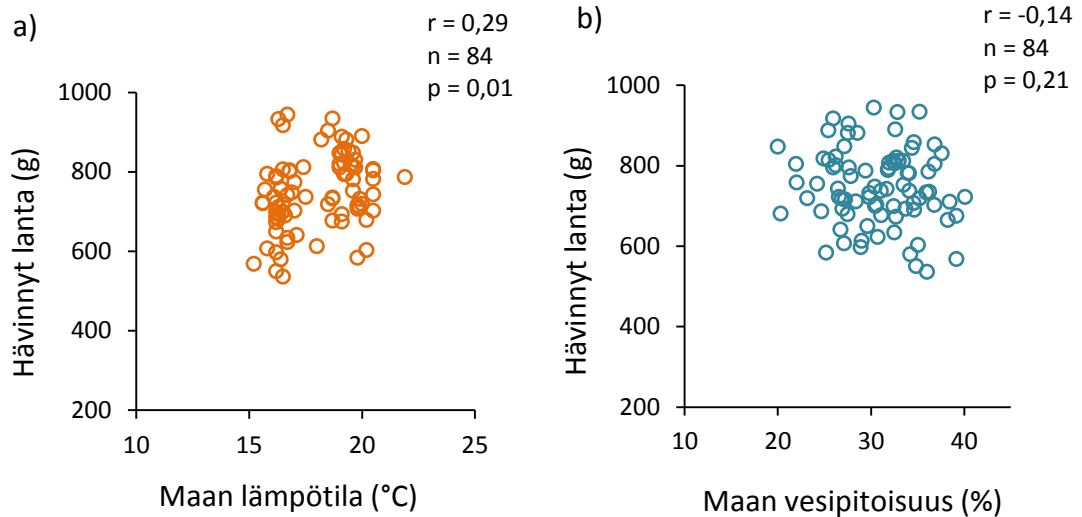
Taulukko 6. Yleistetty lineaarinen sekamalli a) maan vesipitoisuudesta ja b) maan lämpötilasta aitaustyypin, ruohon pituuden sekä näiden yhdysvaikutuksen funktiona. Taulukossa on esitetty kiinteiden vaikutusten F -suhteet ja niihin liittyvät P -arvot sekä satunnaisvaikutusten varianssit.

a)	Lähde	Varianssi	F	ndf	ddf	P
	Aitaustyyppi		0,54	6	12	0,77
	Ruohon pituus		3,95	1	56	0,05
	Aitaustyyppi × ruohon pituus		0,61	6	56	0,72
	Toisto	3,09				
	Toisto (aitaustyyppi)	12,88				
	Jäännösvaihtelu	8,79				

b)	Lähde	Varianssi	F	ndf	ddf	P
	Aitaustyyppi		1,79	6	67	0,11
	Ruohon pituus		533,81	1	67	<0,0001
	Aitaustyyppi × ruohon pituus		1,40	6	67	0,23
	Toisto	0,06				
	Toisto (aitaustyyppi)	<0,01				
	Jäännösvaihtelu	0,37				



Kuva 11. Maan a) vesipitoisuuden ja b) lämpötilan keskiarvot ja näiden keskivirheet (SE). Vesipitoisuus ja lämpötila ovat mitattu lantaläjien alla olevasta maasta. Koska eri aitauskäsittelyt eivät eronneet tilastollisesti havaittavasti toisistaan, näytetään kuvassa yli kaikkien käsittelyiden arvioitu yhteinen keskiarvo eri nurmen pituuksissa.



Kuva 12. Maan a) vesipitoisuuden ja b) lämpötilan suhde hävinneeseen lantamassaan [lantaläjien alkupaino - loppupaino].

4 TULOSTEN TARKASTELO

Tulokseni osoittavat, että kokeessa käytetyt usean neliömetrin aitaukset soveltuivat hyvin lantakuoriaisyhteisöjen toiminnan tutkimiseen. Aitaustyypin vaikutus kuitenkin havaittuun toimintaan: toisessa aitaustyypissä tietyillä yhteisöllä todettiin selvä vaikutus lannan hajoamiseen, mutta toisessa merkitseviä eroja ei löytynyt. Laidunnurmen kasvuun eri lantakuoriaisyhteisöillä ei näyttänyt olevan havaittavaa vaikutusta, kun taas laidunpaineella oli selvä merkitys lantaläjien kevenemiseen. Alla tarkastelen näitä löydöksiäni tarkemmin.

4.1 Koeaitausten toimivuus

Tekemäni kokeen tärkein tavoite oli varmistaa koeaitausten soveltuvuus lantakuoriaisten toiminnan tutkimiseen. Vertailukohtana oli Brasiliassa tehty koe, jossa käytettiin kolmen eri suuruusluokan aitauksia: 1x1 m, 3x3 m ja 9x9 m. Näistä pienimmät aitaukset (1x1 m) havaittiin tehokkaimmiksi lantakuoriaisten poissulkemisessa, sillä kymmenen päivän aikana aitauksien sisäpuolelle pääsi keskimäärin 5-10 % ulkopuolen lantakuoriaisista. Sen sijaan suurimmissa aitauksissa (9x9 m) sisäpuolelle pääsi kokeen kulu-

essa noin 20-80 % ulkopuolen lantakuoriaisista (Schiffler, T., Lousada, J. ja Barlow, J., julkaisematon).

Suomessa aitaukset toimivat hyvin viimeiseen mittauskertaan asti, jolloin sisäpuolelle oli päässyt reilu neljännes ulkopuolen lantakuoriaismäärästä. Aitausten verkon korkeus riitti siis estämään lantakuoriaisien lentämisen sen yli. Lisäksi verkon alareunan kääntäminen toimi lantakuoriaisten sisään- tai ulospääsyn estämiseksi.

Suurempisilmäisen verkon oli tarkoitus päästää selektiivisesti ainoastaan lantiaislajit läpi. Sekin toimi havaintojeni valossa tarkoituksensa mukaisesti: lantaläjien punnitsemisen ohella havaitsin näiden aitauksien sisäpuolella kaikenkokoisia lantiaissuvun yksilöitä. Verrattaessa aitauksia joissa oli suurempisilmäinen verkko seudun luonnollista lantiaistiheyttä kuvastavaan ”kaikki ulkoa” käsittelyyn, käy ilmi, että verkko todennäköisesti karsi jonkin verran lantiaistiheyksiä aitausten sisäpuolella. Jälkimmäisessä käsittelyssä lantaläjät kevenivät nopeammin kuin suurisilmäisen verkon omaavassa ”lantiaiset ulkoa ja sittiäiset sisältä” käsittelyssä.

Viimeisellä mittauskerralla havaitsin aitausten sisäpuolella suhteellisen paljon lantakuoriaisia. Näistä kaikki olivat samaa lajia (kaarilantiainen). Korkea kaarilantiaistiheys aitausten sisäpuolella saattoi johtua siitä, että yksilöt olivat jo valmiiksi maassa aitausten sisäpuolella. Laji on runsaimmillaan loppukesällä (Roslin ja Heliövaara, 2007), joten on mahdollista, että sisäpuolen yksilöt kaivautuivat maasta esiin vasta kokeen loppuvaiheessa. Toinen vaihtoehto on, että kaarilantiaiset pääsivät aitausten ulkopuolelta sisäpuolelle. Laji on kuitenkin lantiaissuvun isoimmasta päästä, joten on epätodennäköistä, että nämä yksilöt olisivat päässeet aitausten sisälle tilanteessa, jossa pienemmät lajit eivät päässeet. Joka tapauksessa lantaläjät olivat tähän aikaan kesästä jo kuivahkoja, joten aitausten sisälle päässeiden kuoriaisten vaikutus tuloksiin oli oletettavasti vähäinen.

Koska tulokseni osoittivat koeaitauksien soveltuvan hyvin lantakuoriaisyhteisöjen muokkaukseen, niitä voidaan käyttää jatkossakin lantakuoriaisten ja mahdollisesti muiden hyönteisten tutkimiseen. Aitaukset kestivät koko kesän jatkuneen kokeen ajan ja ovat näin ollen sopivia myös Suomen olosuhteisiin.

4.2 Lannan hajoaminen

Sittiäisten on oletettu olevan huomattavasti merkittävämpiä lannan hajottajia kuin lantiaisten (Rosenlew ja Roslin 2008). Omat havaintoni eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutuksesta lannan hajoamiseen eri häkkityypeistä ovat tässä suhteessa ristiriitaisia. Tulokset niistä aitauksista, joihin pääsi lantiaisia verkon läpi tukevat aikaisempia havaintoja, joiden mukaan sittiäisten rooli lannan hajottamisessa on lantiaisten osuutta huomattavampi. Vastaavia tuloksia kaivautujalantakuoriaisten merkityksestä ekosysteemien toiminnalle on saatu myös tropiikissa (Larsen ym. 2005, Slade ym. 2007, Slade ym. 2011). Lantiaisten sisäänpääsyn mahdollistavissa koeaitauksissa sittiäisten vaikutus ilmeni erityisesti kokeen alussa, sillä ensimmäisen viikon jälkeen ne läjät joihin sittiäiset eivät päässeet, olivat keskimäärin 113 g painavampia verrattuna vastaaviin läjiin, joihin sittiäisillä oli pääsy.

Havaintoni tiheämpiverkkoisista aitauksista poikkeavat kuitenkin alkuperäisestä oletuksesta sittiäisten toiminnallisesta merkityksestä: näissä aitauksissa en havainnut eroja eri yhteisöjen vaikutuksessa lannan hajoamiseen. On epäselvää, minkä vuoksi eri aitaustyypeistä saadut tulokset eroavat toisistaan. Yksi mahdollisuus on, että eri aitaustyyppit vaikuttivat lantakuoriaisten käyttäytymiseen eri tavoin, sillä aitaukset erosivat toisistaan verkon silmäkoolta ja väriltä. Siten lantakuoriaiset saattoivat reagoida eri tavoin tilanteeseen, jossa ne laitettiin niille näkyvän esteen sisälle tai olivat luonnostaan niille näkymättömän esteen ulkopuolella ja pääsivät sen sisään. Erilaiset reunavaikutukset saattoivat vaikuttaa lantakuoriaisten käyttäytymiseen tiheäverkkoisissa aitauksissa. Monien hyönteisten käyttäytymisen onkin todettu muuttuvan elinympäristöjen reunoilla (mm. Ross ym. 2005, Santos-Heredia 2011). Suurempisilmäisissä aitauksissa taas lantiaiset pääsivät itse vapaasti aitauksiin, jolloin aitaus oli luonteva osa niiden elinympäristöä. Näin ollen aitaustyyppien välisistä eroista saattoi seurata eroja lantakuoriaisten toimintaan.

Lannan painon kehitys erosi osassa aitaustyypeistä, joissa oletin olevan periaatteessa samanlaiset lantakuoriaisyhteisöt. Oletukseni perustui siihen, että niissä aitauksissa, joihin ei päässyt lantiaisia ulkopuolelta, käytetyn lantakuoriaistiheyden oli tarkoitus vastata seudun luonnollista tiheyttä. Tämän varmistin lisäämällä yksilöitä aitausten lantaläjiin samassa suhteessa kuin keräsin niitä. Molempien lantakuoriaissukujen läsnä

ollessa lanta hajosi kuitenkin nopeammin aitauksissa, joihin lantiaiset pääsivät itse verkon läpi kuin aitauksissa, joihin laitoin ne. Erilaiset aitaustyypit voisivat selittää myös tämän eron. Toisaalta en havainnut vastaavia eroja lannan hajoamisessa ennen viimeistä punnituskertaa niissä käsittelyissä, joissa läjien hajoamiseen vaikutti ainoastaan lantiaiset, vaikka tässäkin tapauksessa aitaustyypit erosivat toisistaan. Lannan kevenemisen erot näissä käsittelyissä, saattoivat johtua siitä, että lantakuoriaiset esiintyvät usein epätasaisesti jakautuneena samassa ympäristössä (Hanski 1980, Hanski 1986). Tämä saattaa aiheuttaa eroja paikallisissa lantakuoriaistiheyksissä, mikä voisi selittää lannan nopeamman kevenemisen osassa niistä aitauksista, joihin lantiaiset pääsivät itse verkon läpi. Lantiaisten määrä saattoi olla näissä aitauksissa suurempi, kuin niissä joihin lisäsin lantiaisia läjien keskiarvoa vastaavan määrän. On myös mahdollista, että seudun lantakuoriaistiheys kasvoi toukokuun lopusta, jolloin keräsin kuoriaiset.

Yhteenvedona eri lantakuoriaisyhteisöjen vaikutus lannan hajoamiseen näytti vaihtelevan aitaustyypeittäin. Toisissa käytetyistä aitauksista sittiäisten poistaminen hidasti lannan hajoamista, mutta toisentyyppisissä aitauksissa eri yhteisöjen välillä ei ollut havaittavia eroja. Eri aitaustyypit saattoivat vaikuttaa lantakuoriaisten käyttäytymiseen eri tavoin. Näitä tuloksia on huomioitava, mikäli suunnittelee koetta, jossa on tarkoitus käyttää vastaavanlaisia aitauksia. Suosittelen silloinkin käyttämään ensisijaisesti niitä aitaustyyppejä, joissa havainnot vastasivat ennustuksia (eli käsittelyitä 1 ja 2).

4.3 Lantakuoriaisyhteisöjen vaikutus laidunnurmen kasvuun

Lantakuoriaisten on aiemmissa tutkimuksissa osoitettu tehostavan lannan ravinteiden kiertoa (Bertone 2004, Yamada ym. 2007) ja lisäävän laidunrehun kuiva-aine- ja typpipitoisuutta (Fincher ym. 1981, Bang ym. 2005). Näistä tuloksista poiketen lantakuoriaisilla tai eri lantakuoriaisyhteisöillä ei kokeessani ollut havaittavaa vaikutusta nurmen kasvuun, kun mittasin kuivapainoa lantaläjien alta kaivettuun maahan kylvetystä rai-ruhosta. Lantakuoriaisilla tai eri yhteisöillä ei myöskään ollut havaittavaa vaikutusta läjien ympärillä kasvavan nurmen biomassaan.

Erot eri tutkimuksissa havaittujen tulosten välillä saattaa ainakin osin johtua käytetyistä menetelmistä: Bang ym. (2005) mittasivat laidunrehun kuivapainoa, mutta he lisäsivät

lantaa käsittelyihin useasti kokeen aikana. Tuloksena ravinteiden määrän kussakin käsittelyssä oli epäröimättä huomattavasti suurempi kuin omassa kokeessani. Bertone (2004) mittasi suoraan maan ravinnepitoisuutta, joten hänen kokeessaan jäi epäselväksi, missä määrin ravinteet kulkeutuivat kasveihin. Yamadan ym. (2007) taas mittasivat maan ravinnepitoisuuden lisäksi laidunrehun kasvua, mutta saivat kahtena eri vuotena toisistaan poikkeavat tulokset. Tässä kokeessa käytettiin kuitenkin ainoastaan yhden toiminnallisen ryhmän yksilöitä, kaivautujakuoriaisia. Lisäksi kuoriaisten yksilömäärät olivat kymmenkertaisia omaan kokeeseeni verrattuna. Yhteisörakenteen ja kuoriaisten määrän eroavuuden vuoksi kokeet eivät siten ole täysin vertailukelpoisia. On myös otettava huomioon se, että kokeeni oli perustettu laitumelle, jolloin maan ravinnepitoisuus saattoi vaihdella paikoitellen jo ennen koetta.

Alkuperäisestä oletuksestani poiketen lantakuoriaisten läsnäololla tai lantakuoriaisten eri yhteisörakenteella ei siis kokeessani ollut havaittavaa vaikutusta laidunnurmen kasvuun. Tulokset eivät kuitenkaan riitä todistamaan aiemmin saatuja tuloksia vastaan (mm. Bang 2005, Yamadan ym 2007), joiden mukaan lantakuoriaiset edesauttavat lannan ravinteiden kiertoa, sillä tutkimusmenetelmät olivat näistä poikkeavia ja epätasainen lähtötilanne saattoi vaikuttaa tuloksiin. Kokeeni osoittaa siten osin heikkoa päättelyä (Platt 1964), josta ekologian kokeita on toisinaan kritisoitu – kokeesta saatava todistusvoima ei riitä hypoteesien kumoamiseen (Pepper 1942).

4.4 Laidunpaine, maan vesipitoisuus ja lämpötila

Osan erityisesti Euroopan uhatuista hyönteislajeista oletetaan olevan riippuvaisia korkean laidunpaineen alueista, joiden kasvillisuus on lyhyttä (Thomas 1991). Alkuperäisen oletuksen mukaan lantakuoriaiset hakeutuisivat lyhyeen nurmeen. Esimerkiksi Suomessa äärimmäisen uhanalaisen isolaakasittiäisen (*Onthophagus gibbulus* (Pallas, 1781)) on todettu olevan runsaimmillaan ympäristön lämpimimmissä osissa (Roslin ym 2009). Lantakuoriaisten lajimäärän onkin usein todettu kasvavan laidunnutussa, avoimessa ympäristössä verrattuna umpeenkasvaneeseen ympäristöön (Menéndez ja Gutiérrez 1996, Verdú ym. 2007, Jacobs ym. 2010). Toisaalta taas voimaperäisen ylilaidunnuksen on osoitettu olevan haitaksi lantakuoriaisille (Negro ym. 2011). Menéndez ja Gutiérrez (1996 ja 2004) huomasivat myös yhteyden elinympäristön korkeuden ja laji-

runsauden välillä ja olettivat sen johtuvan lämpötilasta: lantakuoriaiset hakeutuivat korkeammalle mentäessä mahdollisimman matalaan kasvillisuuteen, sillä mikroilmasto viilenee korkeammalle mentäessä.

Oman kokeeni lopussa lantaläjät olivat lähes poikkeuksetta kevyempiä korkean laidunpaineen alueilla verrattuna matalan laidunpaineen alueisiin. Maan lämpötila oli myös korkeampi lyhyessä nurmessa kuin pitkässä. Ero lantaläjien painossa eri laidunpaineiden välillä voi siis johtua lantakuoriaisten hakeutumisesta lämpimämpään mikroilmastoon, joka selittäisi lannan nopeamman kevenemisen maan lämpötilan kasvaessa (vrt. Kuva 12a). Toinen mahdollinen syy on kosteuspitoisuuden ero pitkän ja lyhyen nurmen läjien välillä, jolloin pitkän nurmen varjostus johtaisi läjien suurempaan kosteuteen. Tätä näkökulmaa puoltaa se, että lantaläjät olivat kevyempiä lyhyessä kuin pitkässä nurmessa myös kontrolliaitauksissa, jossa ei ollut lantakuoriaisia. Toisaalta maan kosteus oli hieman korkeampi lyhyen kuin pitkän nurmen läjien alla. Tällöin on oletettavaa, että pitkässä nurmessa olleiden läjien kosteuskaan ei olisi suurempi kuin lyhyen nurmen läjien.

Lopulta laidunpaineen aiheuttamat erot lannan painossa voivat siis johtua joko lantakuoriaisten hakeutumisesta lyhyen nurmen läjiin, lannan kosteuspitoisuuden eroista tai mahdollisesti näistä molemmista. Asia vaatii vielä lisää selvitystä, sillä olisi tärkeää pystyä kohdistamaan lantakuoriaisten suojelutoimenpiteet niin, että ne vastaavat lajien elinympäristövaatimuksia. Toimenpiteet joilla saadaan mahdollisimman suuri hyöty yleisesti, voivat johtaa joidenkin lajien esiintymisen kasvamiseen toisten lajien kustannuksella (van Teeffelen ym. 2008). Koska yleensä hyönteisten ja muiden selkärangattomien on todettu olevan runsaimmillaan hoitamattomilla tai vain vähän hoidetuilla nurmimailla (Morris 2000), on tärkeää varmistaa, ettei tällaisten alueiden lisääminen vähennä lantakuoriaisten elinympäristöjä (mm. Vessby ym. 2002). Ympäristön hoitotoimenpiteissä olisikin hyvä ottaa huomioon eri lajien vaatimukset laidunpaineen suhteen ja muodostaa alueellisesti ja ajallisesti hoitotoimenpiteiltään vaihteleva laidunverkosto (Pöyry ym. 2006).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa ensimmäisenä tavoitteenani oli selvittää, kuinka usean neliömetrin verkkoaitaukset toimivat lantakuoriaisten tutkimisessa ja soveltuvatko tällaiset Etelä-Amerikassa keksityt aitaukset Suomen olosuhteisiin. Kolmen kuukauden mittaisen kokeen aikana aitaukset toimivat kaiken kaikkiaan hyvin. Ne myös soveltuivat Suomen olosuhteisiin mainiosti, joten niitä on mahdollista käyttää lantakuoriaistutkimuksessa jatkossakin. Tämä sallii lantakuoriaisten toiminnan tarkastelun koemenetelmiltään aiempaa suuremmassa mittakaavassa niin, että pienen mittakaavan koemenetelmien haitat on pyritty poistamaan.

Toisena tavoitteenani oli selvittää tällä uudella menetelmällä, kuinka eri lantakuoriaisyhteisöt vaikuttavat lannan hajoamiseen ja laidunnurmen kasvuun. Sain eri yhteisöjen vaikutuksesta lannan hajoamiseen ristiriitaisia tuloksia eri aitaustyypeistä. Suurempisilmäisten aitausten osalta tulokset myötäilevät aiempia tuloksia, jotka korostavat sittiäisten merkitystä. Toisaalta pienisilmäisten aitausten perusteella eri yhteisöillä ei olisi havaittavasti erilaista vaikutusta lannan hajoamiseen. On mahdollista, että erityyppiset aitaukset vaikuttivat lantakuoriaisten toimintaan eri tavoin ja että tämä selittäisi erot havaintojen välillä. Siksi jatkossa tutkimuskäytössä olisi järkevintä käyttää niitä aitauksia, joissa erot korostuivat.

Kolmas tavoitteeni oli selvittää, miten eri laidunpaine vaikuttaa lantaläjien kevenemiseen. Kokeen aikana laidunpaineella oli ilmeinen merkitys lannan painon alenemiseen, sillä korkeassa nurmessa olleet läjät kevenivät lähes aina hitaammin kuin matalassa nurmessa olleet läjät. Erot saattoivat johtua lantakuoriaisten hakeutumisesta lämpimämpiin lyhyessä nurmessa olleisiin läjiin, kosteuspitoisuuden eroista lyhyen ja pitkän nurmen läjien välillä tai näistä molemmista. Siten kokeeni ei anna lopullista tietoa ilmiön taustalla olevista mekanismeista.

Kaiken kaikkiaan kokeeni osoitti lantakuoriaisten tärkeyden ekosysteemipalveluiden tuottajina lannan hajoamisen osalta ja koemenetelmien merkityksen näiden vaikutusten havaitsemiseen. Lisäksi se valaisi laiduntyypin merkitystä lantakuoriaisten toiminnalliseen tehokkuuteen. Tuloksieni perusteella olisi tärkeää ylläpitää hyvin laidunnettuja

alueita erityisesti paahteisilla laitumilla ja varmistaa, että laidunpaine ei jää liian alhaiseksi. Näin saavutetaan mahdollisimman tehokas ympäristön hoitaminen lantakuoriaisten kannalta.

6 KIITOKSET

Haluaisin kiittää ohjaajiani Tomas Roslinia ja Eleanor Sladea aina kannustavasta asenteesta ja arvokkaista neuvoista. Kiitos myös Bess Hardwickille kaikesta avusta ja hyödyllisistä vinkeistä. Lisäksi haluaisin kiittää Esa Aaltosta koeaitausten suunnittelusta ja pystyttämisestä. Työ ei ollut helpoimmasta päästä, mutta lopputulos oli silmiinpistävä upea. Kiitos myös Helena ja Fredrik von Limburg Stirumille, jotka antoivat ystävällisesti pystyttää kummallisen näköisiä häkkyröitä laitumilleen. Kari Heliövaaralle kiitos lantakuoriaiskuvien lainasta.

Lisäksi haluaisin kiittää Päiviä ja Harria kesämajoituksesta ja luvasta tonkia lukuisia lehmän läjiä laitumillaan. Haluaisin kiittää myös vanhempiani kulkemisen helpottamisesta sekä erinäköisten vempainten lainasta ja korjaamisesta. Iso kiitos myös Ipelle kaikesta mahdollisesta avusta ja kaikenkestävästä asenteesta lantakuoriaisia kohtaan.

LÄHTEET

- Bang, H.S., Lee, J-H., Kwon, O.S., Na, E.Y., Jang, Y.S. & Kim, W.H. 2005. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. *Applied Soil Ecology* 29: 165-171.
- Bertone, M.A. 2004. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Geotrupidae) of North Carolina cattle pastures and their implications for pasture improvement. M.Sc. Thesis. Raleigh, North Carolina: North Carolina State University.
- Beynon, S.A., Mann, D.J., Slade, E.M. & Lewis, O.T. 2012. Species-rich dung beetle communities buffer ecosystem services in perturbed agro-ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 49: 1365-1372.
- Breslow, N.E. & Clayton, D.G. 1993. Approximate inference in generalized linear mixed models. *Journal of the American Statistical Association* 88: 9-25.
- Cambefort, Y. & Hanski, I. 1991. Dung beetle population biology. Teoksessa: Hanski, I. & Cambefort, Y. *Dung beetle ecology*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. s. 36-50.
- Dangles, O., Carpio, C. & Woodward, G. 2012. Size-dependent species removal impairs ecosystem functioning in a large-scale tropical field experiment. *Ecology* 93: 2615-2625.
- De Bach, P. 1974. *Biological control ecology*. Teoksessa: De Bach, P. *Biological control by natural enemies*. London: Cambridge University Press. s. 47-70.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. & Boumans, R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408.
- Fincher, G.T., Monson, W.G. & Burton, G.W. 1981. Effects of cattle feces rapidly buried by dung beetles on yield and quality of coastal bermudagrass. *Agronomy Journal* 73: 775-779.
- Finn, J.A. & Giller, P.S. 2000. Patch size and colonisation patterns: an experimental analysis using north coprophagous dung beetles. *Ecography* 23: 315-327.
- Gittings, T. Giller, P. S. & Stakelum, G. 1994. Dung decomposition in contrasting temperate pastures in relation to dung beetle and earthworm activity. *Pedobiologia* 38: 455-474.

- Hanski I. 1980. Spatial patterns and movements in coprophagous beetles. *Oikos* 34: 293-310.
- Hanski, I. 1986. Individual behaviour, population dynamics and community structure of *Aphodius* (Scarabaeidae) in Europe. *Acta Oecologica* 7: 171-187.
- Holter, P. 1977. An experiment on dung removal by *Aphodius* larvae (Scarabaeidae) and earthworms. *Oikos* 28: 130-136.
- Holter, P. 1979. Effect of dung-beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. *Oikos* 32: 393-402.
- Jacobs, C.T., Scholtz, C.H., Escobar, F. & Davis, A.L.V. 2010. How might intensification of farming influence dung beetle diversity (Coleoptera: Scarabaeidae) in Maputo Special Reserve (Mozambique)? *Journal of Insect Conservation* 14: 389-399.
- Koskela, H. & Hanski, I. 1977. Structure and succession in a beetle community inhabiting cow dung. *Annales Zoologici Fennica* 14: 204-223.
- Kremen, C, Thorp, R.W. & Williams, N.M. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99: 16812-16816.
- Kremen, C. 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8: 468-479.
- Larsen, T.H., Williams, N.M. & Kremen, C. 2005. Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. *Ecology Letters* 8: 538-547.
- Lastro, E. 2006. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Geotrupidae) in North Carolina pasture ecosystem. M.Sc. Thesis. Raleigh, North Carolina: North Carolina State University.
- Losey, J. & Vaughan, M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience* 4: 311-323.
- Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012a. Maatilojen rakenne. <http://www.maataloustilastot.fi/maatilojen-rakenne>. Viitattu 14.01.2013.
- Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012b. Alueittainen lihantuotanto. <http://www.maataloustilastot.fi/alueittainen-lihantuotanto>. Viitattu 14.01.2013.
- Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012c. Alueittainen maidontuotanto. <http://www.maataloustilastot.fi/alueittainen-maidontuotanto>. Viitattu 14.01.2013.

- Macqueen, A. & Beirne, B.P. 1975. Effects of cattle dung and dung beetle activity on growth of beardless wheatgrass in British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science* 55: 961-967.
- Menéndez, R. & Gutiérrez, D. 1996. Altitudinal effects on habitat selection of dung beetles (Scarabaeoidea: Aphodiidae) in the northern Iberian peninsula. *Ecography* 19: 313-317.
- Menéndez, R. & Gutiérrez, D. 2004. Shifts in habitat associations of dung beetles in northern Spain: Climate change implications. *Ecoscience* 11: 329-337.
- Mittal, I.C. 1993. Natural manuring and soil conditioning by dung beetles. *Tropical Ecology* 34: 150-159.
- Morris, M.G. 2000. The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological Conservation* 95: 129-142.
- Moser, E.B. 2004. Repeated measures modeling with PROC MIXED. *Proceedings of the 29th SAS Users Group International Conference*. s.121-129.
- Negro, M., Rolando, A. & Palestrini, C. 2011. The impact of overgrazing on dung beetle diversity in the Italian Maritime Alps. *Entomological Society of America* 104: 1081-1092.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcua, S. & Favila, M.E. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation* 141: 1461-1474.
- O'Hea, N.M., Kirwan, L. & Finn, J.A. 2010. Experimental mixtures of dung fauna affect dung decomposition through complex effects of species interactions. *Oikos* 119: 1081-1088.
- Owen, W.K., Lloyd, J.E, Legg, D.E, & Kumar, R. 2006. Endocoprid activity of *Aphodius fossor* (Coleoptera: Scarabaeidae) related to bovine dung decomposition in a mixed grass prairie. *Journal of Economic Entomology* 99: 2210-2215.
- Pepper, S.C. 1942. *World hypotheses: a study in evidence*. Berkeley: University of California Press. 364 s.
- Pimentel, D., Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q. Saltman, T. & Cliff, B. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bio Science* 47: 747-757.

Pimm, S.L., Russell, G.J., Gittleman, J.L. & Brooks, T.M. 1995. The Future of Biodiversity. *Science* 269: 347-350.

Platt, J.R. 1964. Strong inference. *Science* 146: 348-353.

Pykälä, J. & Alanen, A. 2004. Perinnebiotoopit ja niiden väheneminen. Teoksessa: Tiainen, J., Kuussaari, M., Laurila, I.P. & Toivonen, T. (toim.). *Elämää pellossa – Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus*. Helsinki: Edita Publishing Oy. s. 192-203.

Pöyry, P., Luoto, M., Paukkunen, J., Pykälä, J., Raatikainen, K. & Kuussaari, M. 2006. Different responses of plants and herbivore insects to a gradient of vegetation height: an indicator of the vertebrate grazing intensity and successional age. *Oikos* 115: 401-412.

Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (Toim.). 2010. Suomen lajien uhanalaisuus - Punainen kirja 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. 685 s.

Rosenlew, H. & Roslin, T. 2008. Habitat fragmentation and functional efficiency of temperate dung beetles. *Oikos* 117: 1659-1666.

Roslin, T., Avomaa, T., Leonard, M., Luoto, M. & Ovaskainen, O. 2009. Some like it hot: Microclimatic variation affects the abundance and movements of a critically endangered dung beetle. *Insect Conservation and Diversity* 2: 232-241.

Roslin, T. & Heliövaara, K. 2009. Suomen lantakuoriaiset – Opas santiaisista lantiaisiin. Helsinki: Gaudeamus. 244 s.

Ross, J.A., Matter S.F. & Roland, J. 2005. Edge avoidance and movement of the butterfly *Parnassius smintheus* in matrix and non-matrix habitat. *Landscape Ecology* 20: 127-135.

Santos-Heredia, C., Andresen, E. & Stevenson, P. 2011. Secondary seed dispersal by dung beetles in an Amazonian forest fragment of Colombia: influence of dung type and edge effect. *Integrative Zoology* 6: 399-408.

Schowalter, T.D. 2012. Insect herbivore effects on forest ecosystem services. *Journal of Sustainable Forestry* 31: 518-536.

Slade, E.M., Mann, D.J., Villaneuva, J.F. & Lewis, O.T. 2007. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *Journal of Animal Ecology* 76: 1094-1104.

- Slade, E.M., Mann, D.J. & Lewis, O.T. 2011. Biodiversity and ecosystem function of tropical forest dung beetle under contrasting logging regimes. *Biological Conservation* 144: 166-174.
- Thomas, J.A. 1991. Rare species conservation: case studies of European butterflies. Teoksessa: Spellerberg, I.F., Goldsmith, F.B. & Morris, M.G. *The scientific management of temperate communities for conservation*. Oxford: Blackwell scientific publications. s. 149-197.
- Vainio, M., Kekäläinen, H., Alanen, A. & Pykälä, J. 2001. Suomen perinnebiotoopit. Perinnemaisemaprojektin valtakunnallinen loppuraportti. *Suomen ympäristö 527*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 123 s.
- van Teeffelen A.J.A., Cabeza, M., Pöyry, J., Raatikainen, K. & Kuussaari, M. 2008. Maximizing conservation benefit for grassland species with contrasting management requirements. *Journal of Applied Ecology* 45: 1401–1409.
- Verdú, J.R., Moreno, C.E., Sánchez-Rojas, G., Numa, C., Galante, E. & Halfpeter, G. 2007. Grazing promotes dung beetle diversity in the xeric landscape of a Mexican Biosphere Reserve. *Biological Conservation* 140: 308-317.
- Vessby, K., Soderstrom, B., Glimskar, A. & Svensson, B. 2002. Species-richness correlations of six different taxa in Swedish seminatural grasslands. *Conservation Biology* 16: 430-439.
- Wall, R. & Strong, L. 1987. Environmental consequences of treating cattle with the antiparasitic drug ivermectin. *Nature* 327: 418-421.
- Winfrey, R., Gross, B.J. & Kremen, C. 2011. Valuing pollination services to agriculture. *Ecological Economics* 71: 80-88.
- Yamada, D., Imura, O., Shi, K. & Shibuya, T. 2007. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassland Science* 53: 121-129.