



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

Metsämansikan (*Fragaria vesca*) vastustuskyky  
kasvinsyöjähyönteisiä vastaan ja sen vaikutukset kasvin  
kelpoisuudelle

Ida Palmroos

Biologia (ekologia ja evoluutiobiologia)

Pro gradu -tutkielma

Laajuus: 30 op

Ohjaaja:

Anne Muola

31.1.2022

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Pääaine: Biologia, ekologia ja evoluutiobiologia

Tekijä: Ida Palmroos

Otsikko: Metsämansikan (*Fragaria vesca*) vastustuskyky kasvinsyöjähyönteisiä vastaan ja sen vaikutukset kasvin kelpoisuudelle

Ohjaaja: Anne Muola

Sivumäärä: 33 sivua

Päivämäärä: 31.1.2022

---

Kasvien ja kasvinsyöjien pitkä yhteinen evoluutiohistoria on johtanut niiden välisiin moninaisiin vuorovaikutussuhteisiin. Koska kasvit eivät voi paeta kasvinsyöjiä, on niiden täytynyt kehittää lukuisia puolustusmekanismeja. Puolustusmekanismit voivat olla rakenteellisia tai kemiallisia. Koska kasvit joutuvat käyttämään resursseja puolustukseen, voi resurssiristiriitoja syntyä esimerkiksi kasvun ja puolustuksen välille. Tällainen resurssiristiriito voi olla huomattavissa muun muassa tilanteissa, jossa kasvinsyöjiä ei olekaan läsnä.

Tässä tutkimuksessa tarkastelen vastustuskyvyltään erilaisten metsämansikoiden (*Fragaria vesca*) vasteita kahden kasvinsyöjähyönteisen aiheuttamaan vaurioon. Kokeessa olevat metsämansikat valitsin mukaan genotyypipoolista, minkä vastustuskyky mansikkanälvikästä (*Galerucella tenella*) vastaan tunnetaan. Kyseisten metsämansikoiden vastustuskykyä on tutkittu mansikkanälvikkään performanssin ja preferenssin kautta, mutta vastustuskyvyn vaikutuksia itse kasville ei tunneta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin selvittää, onko metsämansikan vastustuskyvyllä vaikutuksia sen kasvuun ja lisääntymiseen ja onko kasvinsyöjien aiheuttaman vaurion määrässä eroja riippuen siitä, luokitellaanko kasvi vastustuskykyiseksi vai alttiiksi mansikkanälvikkääille. Kokeessa on mukana myös toinen kasvinsyöjä vattukärsäkäs (*Anthonomus rubi*), joten kokeessa voidaan lisäksi selvittää, onko vastustuskyvystä mansikkanälvikästä vastaan apua myös vattukärsäkästä kohtaan.

Kokeessani on kolme eri käsittelyä, joista kontrollissa ei ole hyönteisiä. Ensimmäisessä hyönteiskäsittelyssä on mansikkanälvikkääitä ja toisessa on lisäksi vattukärsäkkeitä. Jokaisessa käsittelyssä on sekä alttiita, että vastustuskykyisiä metsämansikoita. Kokeessa mittasin metsämansikoista niiden kasvua, lisääntymistä, sekä aiheutuneen vaurion määrää.

Kokeessani alttiit kasvit kokivat vähemmän lehtivauriota kuin vastustuskykyiset kasvit ja ne myös kasvoivat vastustuskykyisiä paremmin. Lisäksi kasveissa havaittu kukkavaurio korreloi positiivisesti sekä kasvun, että marjojen tuoton kanssa. En siis havainnut kasvin aiemmin todetusta vastustuskyvystä olevan hyötyä kasville, myöskään resurssiristiriitoja en havainnut. Kasvin puolustuksen tutkimista ei siis tämän kokeen tulosten perusteella voi testata pelkästään hyönteisen näkökulmasta, vaan huomioon on otettava myös kasvien reaktiot kasvinsyönnille.

---

Avainsanat: kasvin puolustus, vastustuskyky, metsämansikka, mansikkanälvikäs, vattukärsäkäs

Master's thesis

Subject: Biology, Ecology and Evolutionary Biology

Author: Ida Palmroos

Title: Resistance of woodland strawberry (*Fragaria vesca*) to herbivorous insects and its effects on plant fitness

Supervisor: Anne Muola

Number of pages: 33 pages

Date: 31.1.2022

---

Plants and herbivores share a long evolutionary history which has led to diverse interactions between them. Because plants cannot escape from herbivores, they have adapted by developing numerous defense mechanisms. Defense mechanisms can be structural or chemical. However, plants need to allocate resources for defense and, thus, trade-offs can arise between growth and defense.

In this study, I examine the responses of woodland strawberries (*Fragaria vesca*) with varying resistance to two different herbivores. The woodland strawberries I use in the experiment have been selected from a known genotype pool with known resistance levels to strawberry leaf beetle (*Galerucella tenella*). The resistance of these wild woodland strawberry genotypes has been studied through strawberry leaf beetle performance and preference, but the potential effects of resistance on the plant itself are unknown. The purpose of this study is to determine whether the resistance of woodland strawberries influences its growth and reproduction and whether there are differences in the amount of damage caused by herbivores depending on whether the plant is classified as resistant or susceptible to herbivory. I also use another herbivore strawberry blossom weevil (*Anthonomus rubi*) in the experiment to test whether the resistance to strawberry leaf beetle is also helpful against the weevil.

There are three different treatments in my experiment. In the first insect treatment, there are strawberry leaf beetles and in the second there are both beetles and strawberry blossom weevils. There are no insects in the control treatment. Each treatment has both susceptible and resistant woodland strawberries. In the experiment, I measured growth and reproduction of the study plants and amount of damage caused by herbivores.

Results showed that susceptible plants experienced less leaf damage than resistant plants and they grew better than resistant plants. In addition, flower damage in plants is positively correlated with growth and amount of berries. The previously determined resistance of the plants was not found to be beneficial to the plants in this experiment and no indications of trade-offs were found either. According to these results, plant resistance should not be tested only by using the preference and performance of the herbivore. Plant responses to herbivory should also take to account to get the full view of the subject.

---

Key words: plant defense, resistance, woodland strawberry, strawberry leaf beetle, strawberry blossom weevil

# Sisällys

1. Johdanto .....	1
1.1 Kasvin ja kasvinsyöjähyönteisen välinen vuorovaikutus .....	1
1.2 Kasvin puolustus .....	2
1.2.1 Kasvin vastustuskyvyn käyttö kasvinsuojelussa .....	4
1.3 Mansikan viljely ja sen haasteet .....	5
1.3.1 Miten tuholaisiin liittyviä haasteita pyritään ratkaisemaan .....	5
1.4 Tutkimuksen tarkoitus ja kysymykset .....	6
2. Materiaali ja menetelmät .....	8
2.1 Tutkimuslajit .....	8
2.1.1 Metsämansikka .....	8
2.1.2 Mansikkanälvikäs .....	8
2.1.3 Vattukärsäkäs .....	10
2.2 Koeasetelma .....	11
2.3 Tutkimusmenetelmät .....	14
2.3.1 Tutkimuskasvien kasvun ja lisääntymisen seuranta .....	14
2.3.2 Kasvinsyöjien aiheuttaman vaurion arviointi .....	15
2.3.3 Tilastolliset menetelmät .....	16
3. Tulokset .....	17
4. Pohdinta .....	23
4.1 Alttiusluokituksen vaikutukset .....	23
4.2 Käsittelyn vaikutukset .....	25
4.3 Virhelähteet .....	27
4.4 Tulevaisuuden näkymät .....	27
4.4.1 Kasvin vastustuskyvyn tutkiminen .....	27
4.4.2 Vastustuskyvyn hyödyntäminen maataloudessa .....	28
5. Kiitokset .....	29
6. Lähteet .....	30

# 1. Johdanto

## 1.1 Kasvin ja kasvinsyöjähyönteisen välinen vuorovaikutus

Kasvien ja kasvinsyöjien väliset vuorovaikutussuhteet ovat hyvin monimuotoisia, onhan hyönteisten luokka lajimäärällisesti suurin, ja noin puolet kaikista hyönteisistä käyttää ravintonaan kasveja (Schoonhoven ym. 2005a). Huomattavaa kasvinsyöjähyönteisten käyttäytymisessä on niiden lajityypillinen erikoistuminen johonkin tiettyyn kasviin tai kasviryhmään. Onkin jopa laskettu, että noin yhdeksänkymmentä prosenttia kaikista kasvinsyöjähyönteisistä ruokailisi laji- tai sukuspesifisesti (Schoonhoven ym. 2005a). Monofaageiksi eli yksiruokaisiksi hyönteisiksi kutsutaan lajeja, jotka ruokailevat vain yhdellä tietyllä lajilla tai lisäksi muutamalla muulla kyseistä lajia muistuttavalla lähisukuisella lajilla. Tällaisia yksiruokaisia lajeja ovat muun muassa useat eri perhoslajit. Oligofaagit eli harvaruokaiset hyönteislajit taas kelpuuttavat ravinnokseen useampia lajeja, mutta näiden lajien tulee olla saman suvun sisällä. Esimerkkinä tällaisesta harvaruokaisesta lajista on koloradonkuoriainen (*Leptinotarsa decemlineata*), joka tunnetaan hyvin viljellyn perunan (*Solenum tuberosum*) tuholaisena, mutta voi ruokailla myös muilla samaan sukuun kuuluvilla koisokasveilla (*Solanaceae*) (Schoonhoven ym. 2005a). Usein ravintospesifeihin kasvinsyöjähyönteisiin liitetään myös lisääntyminen kyseisellä isäntäkasvilla. Naaras munii usein munansa isäntäkasville, esimerkiksi lehdille tai kukkiin, jolloin toukille on kuoriutumisen jälkeen heti ravintoa saatavilla.

Sekä kasvin, että kasvinsyöjän tunnusomaiset piirteet vaikuttavat suuresti niiden väliseen vuorovaikutussuhteeseen. Esimerkiksi kasvien moninaiset ominaisuudet, niin elinkierron, morfologian, kuin niiden tuottamien kemiallisten yhdisteiden osalta vaikuttavat kasvinsyöjähyönteisten sopeutumiseen, jolloin lajikohtaista erikoistumista pääsee syntymään. (Schoonhoven ym. 2003a). Tämän lisäksi erikoistumista on selitetty muun muassa kasvinsyöjähyönteisen morfologisilla piirteillä ja koolla (Niemelä ym. 1989; Lindström ym. 1994). Tiettyyn kasvilajiin erikoistumisen lisäksi eri hyönteiset syövät usein eri osia kasvista. Eri lajin hyönteiset voivat siis olla erikoistuneita samaan kasvilajiin tai sukuun, mutta ruokailevat eri osilla kyseisiä kasveja. Myös saman lajin hyönteiset voivat ruokailla eri kasvin osilla eri elinkiertonsa vaiheissa. Folivorit, joihin kuuluvat muun muassa useat kovakuoriaiset (*Coleoptera*), ovat pääasiassa lehtiä syöviä hyönteisiä, jotka pureskelevat isoja palasia lehdistä. Tällaisia ovat muun muassa tässäkin tutkimuksessa käytettävät mansikkanälvikkää (*Galerucella tenella*). Lehtien lisäksi hyönteiset voivat erikoistua muun muassa syömään kasvin kukkarakenteita. Tällaisia

hyönteisiä kutsutaan florivoreiksi. Kukkarakenteiden vaurioittamisen lisäksi kasvinsyöjähyönteiset voivat käyttää ravinnokseen myös kukista syntyviä hedelmiä tai niiden siemeniä. Kukkarakenteita, hedelmiä ja siemeniä vaurioittavat hyönteiset aiheuttavat kasveille yleisesti ottaen suurta haittaa, sillä kasvien lisääntymistehokkuus heikkenee (Crawley 1989).

## 1.2 Kasvin puolustus

Koska kasvien ja kasvinsyöjähyönteisten yhteinen evoluutiohistoria on pitkä, on kasveille kehittynyt useita keinoja puolustautua kasvinsyöjiä vastaan. Nämä keinot voivat olla joko kasvin rakenteellisia ominaisuuksia, kuten syömistä haittaava paksu vahakerros lehtien päällä tai piikit, mutta ne voivat olla myös kemiallisia. Kasvien puolustus voidaan jakaa ja ryhmitellä useammalla eri tavalla. Yksi tapa ryhmitellä puolustusta on jakaa se suoraan ja epäsuoraan puolustukseen. Suora puolustus kattaa kasvin oman rakenteen, sekä sen tuottamat kemialliset yhdisteet, joiden avulla se puolustautuu kasvinsyöjiä vastaan. Epäsuora puolustus taas tapahtuu jonkin muun eliön kautta. Kasvi voi esimerkiksi tarjota elinpaikan jollekin eliölle, joka on luontainen vihollinen kasvia syöväälle hyönteiselle (War ym., 2012). Kasvin puolustus voidaan jakaa myös konstitutiiviseen puolustukseen ja indusoituun puolustukseen. Konstitutiivisella puolustuksella tarkoitetaan kasvissa valmiina olevia puolustusmekanismeja, kun taas indusoituvan puolustuksen mekanismit syntyvät tilanteessa, jossa kasville aiheutuu vauriota (War ym., 2012). Huomattavaa kuitenkin on, että epäsuorat ja suorat puolustusmekanismit voivat olla joko konstitutiivisia tai indusoituja.

Kasvien tuottamien kemiallisten yhdisteiden kirjo on hyvin moninaista. Se voidaan jakaa ensisijaisen ja toissijaisen aineenvaihdunnan tuotteiksi. Ensisijaisen aineenvaihdunnan tuottamat kemialliset yhdisteet on tarkoitettu kasvin omaan käyttöön, esimerkiksi kasvuun ja lisääntymiseen, kun taas toissijaisen aineenvaihdunnan tuotteet on tarkoitettu muun muassa kasvin puolustukseen (Howe & Jander 2008). Toissijaiset kemialliset yhdisteet muuttavat muun muassa kasvin makua kasvin osissa, joissa niitä tuotetaan. Muuttunut maku ei ole usein kasvinsyöjien mieleen, jolloin ne toimivat puolustuksena kasvinsyöjiä vastaan (Howe & Jander 2008). Toissijaisista kemiallisista yhdisteistä muun muassa fenolit ovat hyvin yleisiä kasvinpuolustuksessa. Kasveissa ne lisäävät vastustuskykyä kasvinsyöjää kohtaan (Usha & Jyothsna 2010). Fenoleiden lisäksi myös jasmonihappojen on todettu olevan olennainen osa kasvinpuolustusta etenkin niveljalkaisia kasvinsyöjiä vastaan, jotka voivat aiheuttaa useanlaisia vaurioita kasvien

pintakudoksille (Howe & Jander 2008). Jasmonihappojen on todettu olevan perustana lukuisille kasvien eri puolustusominaisuuksille. Näihin kuuluvat muun muassa kasvin pinnalla olevien karvojen kemiallisten yhdisteiden erityys (Boughton ym. 2005), vastustuskyky erilaisille kasvitaudeille (Glazebrook 2005), vastustuskyky kasvin sisäosien solukkoa syöville hyönteisille (Ellis ym., 2002), sekä puolustussignaalien systeeminen lähetys (Schilmiller ym., 2005). Näiden ja lukuisten muiden kemiallisten yhdisteiden avulla kasvi pystyy puolustamaan itseään kasvinsyöjiä vastaan, sekä kehittämään vastustuskykyä tiettyjä lajeja kohtaan.

Kasvien vastustuskyky kehittyi evoluutioprosesseissa usein tietyllä paikalla tiettyä kasvinsyöjää vastaan (Schoonhoven ym. 2005b). Kasveilla on siis tapahtunut sopeutumista ympäristön aiheuttamasta paineesta johtuen. Tämän vuoksi yhtä kasvinsyöjää vastaan kehitetty vastustuskyky ei automaattisesti tarkoita vastustuskykyä toista kasvinsyöjälajia kohtaan, sillä kasvinsyöjät ovat keskenään hyvin erilaisia (Bode & Kessler 2012). Kasvien vastustuskyky kasvinsyöjähyönteisiä kohtaan voi vaihdella myös lajin sisäisesti geneettisistä ominaisuuksista johtuen (Kaiping & Lincoln 1994). Muun muassa Bode ja Kessler (2012) tutkivat artikkelissaan korkeapiiskun (*Solidago altissima*) vastustuskykyä usealle eri kasvinsyöjähyönteiselle. Koe perustettiin pellolle, jossa puolet kasveista saivat kasvaa ympäristössä, mistä hyönteiset poistettiin myrkytysten avulla kahdentoista vuoden ajaksi ja toiset kasveista elivät luonnonmukaisesti hyönteisten kanssa. Kahdentoista vuoden ajanjakson jälkeen kyseisiltä koealoilta kerättiin kasvit ja niille tehtiin kasvu- ja vastustuskykyanalyysit. Tulokset osoittivat luonnonvalinnan vaikutuksen kasvin puolustukselle; ilman hyönteisiä olleet kasvit eivät olleet enää vastustuskykyisiä yleisimmälle elinympäristön kasvinsyöjähyönteiselle. Vastustuskyky harvinaisemmille lajeille kuitenkin säilyi.

Vastustuskyvystä kasvinsyöjiä vastaan voi olla myös kustannuksia kasville, sillä puolustukseen käytettävät resurssit ovat pois yleensä jostain muusta. Esimerkiksi Coley ja kumppanit (1985) huomasivat, että vastustuskykyisemmät kasvit muun muassa kasvoivat hitaammin. Vaikka vastustuskyky yleisesti ottaen lisää kasvin kelpoisuutta, voi siitä olla joissain tilanteissa kuitenkin myös haittaa. Esimerkiksi Franks ja kumppanit (2008) testasivat osana koettaan mesikaarnamyrtin (*Melaleuca quinquenervia*) vastustuskyvyn vaikutusta kasvin kasvuun. Kasvua mitattiin kahdessa eri koeympäristössä, josta toisesta oli poistettu kasvinsyöjähyönteiset, kun toisessa ne olivat läsnä. Kokeen tulokset osoittivat negatiivisen korrelaation kasvin kasvussa ja vastustuskyvyssä, kun kasvinsyöjät eivät olleet läsnä ympäristössä. Kyseistä ilmiötä kutsutaan

resurssiristiriidaksi ja johtuu siitä, että sopeutumisen kautta syntynyt vastustuskyky ja siihen tarvittavien kemiallisten yhdisteiden tai morfologisten rakenteiden tuotto kasvissa ei lopu yhtäkkisesti ympäristön muuttuessa, vaan ne vievät kasvilta edelleen resursseja, jolloin kasvin kasvu ja lisääntyminen ovat tehottomampia kuin ei-vastustuskykyisten kasvien.

### 1.2.1 Kasvin vastustuskyvyn käyttö kasvinsuojelussa

Luonnonympäristöjen lisäksi kasvit joutuvat puolustautumaan useita kasvinsyöjiä ja taudinaiheuttajia vastaan myös maatalousympäristöissä niin yhtäaikaisesti kuin pitkin kasvukautta (Stam ym. 2014). Maatalousympäristöissä kasvinsyöjien, rikkaruohojen ja kasvitautien aiheuttamien vahinkojen määrä on suuri ja sadonmenetykset voivat olla jopa 40 % vuotuisesta sadosta (Oerke 2006). Suuret sadonmenetykset aiheuttavat painetta lisätä muun muassa hyönteismyrkkujen käyttöä viljelyksillä. Koska torjunta-aineet ovat ongelmallisia sekä ihmisten terveyden, että esimerkiksi pölyttäjähönteisten kannalta (McCauley ym. 2006; Stanley ym. 2015), on niiden käytön vähentämiseen tähtäävät toimet ja kasvinsuojelun hoitaminen muilla keinoin keskeinen teema niin käytännön viljelytyössä kuin tutkimuksessakin. Kasvin puolustusominaisuudet ovatkin tärkeässä roolissa integroidun kasvinsuojelun strategiassa (kuvattu muun muassa EU direktiivissä 2009/128/EG). Tässä strategiassa otetaan huomioon niin biologiset, ekologiset kuin taloudellisetkin näkökulmat kasvinsuojelussa.

Kasvien vastustuskyvyn käyttö kasvinsuojelussa kasvinsyöjäyhönteisiä vastaan on yksi avaintekijöistä, kun halutaan lähteä miettimään vaihtoehtoisia menetelmiä hyönteismyrkyille maataloudessa (Broekgaarden ym., 2011). Maataloudessa kasvien vastustuskyvyn käyttö on kuitenkin vielä melko uusi asia ja esimerkiksi kasvien luontaista geneettistä vaihtelua erilaisia hyönteisiä ja taudinaiheuttajia vastaan ei ole vielä hyödynnetty kunnolla (Broekgaarden ym., 2011). Selvää kuitenkin on, että pitkään viljelyssä käytettyjen lajien ja lajikkeiden geneettinen monimuotoisuus ei ole niin suurta, kuin esimerkiksi viljeltävien lajien villien sukulaisten. Tämä johtuu pääasiassa pitkällisestä jalostuksesta, jossa lajien tiettyjä ominaisuuksia on suosittu, jolloin esimerkiksi osa puolustusominaisuuksista on voinut hävitä viljelykasvien geenipoolista. Nykyisin viljelykäytössä olevat kasvilajikkeet ovatkin geneettisiltä ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia (Zhang ym. 2017). Hyviä esimerkkejä köyhtyneestä geneettisestä monimuotoisuudesta ovat muun muassa maailmalta laajalti viljelty soija ja maissi (Wright ym. 2005; Hyten ym. 2006). Niinpä onkin ehdotettu, että viljelylajien villeistä sukulaisista voitaisiin esimerkiksi jalostuksen avulla saada hyötykäyttöön muun muassa



vastustuskykyominaisuuksia kasvinsyöjähyönteisiä vastaan esimerkiksi erilaisten risteymien avulla. Risteymien lisäksi voitaisiin käyttää hyväksi myös geeniteknikan menetelmiä, mutta tämä vaatisi lajien genomien tuntemisen, sekä tulisi huomattavasti kalliimmaksi (Broekgaarden ym., 2011). Esimerkiksi keltasinapista (*Sinapis alba*) on onnistuttu siirtämään samaan heimoon kuuluvaan rapsiin (*Brassica napus*) vastustuskykyinen geeni kaalikärpistä (*Delia radicum*) vastaan. Kaalikärpänen aiheuttaa tuhoa viljelyksillä syömällä kasvien juuria (Ekuere ym. 2005).

### 1.3 Mansikan viljely ja sen haasteet

Mansikkaa viljellään laajalti niin maailmalla kuin Suomessakin. Ravinnontuotannon lisäksi mansikan viljelyllä on myös suurta rahallista arvoa ja luksustuotteenakin pidetyn mansikan markkinahinta voi ajoittain nousta korkeaksi. Esimerkiksi pelkästään Euroopan Unionin alueella viljellyn mansikan markkinatuotto vuonna 2018 oli 3,8 miljardia Yhdysvaltojen dollaria. Suurimpia mansikantuottajia EU:ssa ovat Saksa ja Puola. (Global Trade Daily 2020). Suomessa viljellyn mansikan peltopinta-ala kattaa reilun 4000 hehtaaria, joista noin 195 hehtaaria on luomuviljelyssä. Peltoviljelyn lisäksi mansikoita kasvatetaan erityisissä viljelytunneleissa (Hedelmän- ja marjanviljelijäin liitto 2020).

Puutarhamansikoilla on useita erilaista vahinkoa kasville aiheuttavia kasvinsyöjähyönteisiä. Kasvinsyöjähyönteiset voivat joko vaurioittaa mansikan vihreitä osia, kuten lehtiä ja varsia tai aiheuttaa vaurioita suoraan kukkaan tai marjaan, mikä aiheuttaa mansikanviljelyssä suurimman sadonmenetyksen, kun marjaa ei joko muodostu tai se on myyntikelvoton. Satomenetykset yhdessä rikkakasvien ja kasvitautien aiheuttamien ongelmien kanssa voivat olla puutarhamansikkaviljelyksillä jopa 40–60 % luokkaa (Svensson 2002; Kovanci ym., 2005; Oerke 2006). Jatkuvasta tuhohyönteisten aiheuttamasta paineesta johtuen mansikkaviljelyksillä tehtävien kemiallisten torjuntotojen määrä on ollut kasvussa. Esimerkiksi vattukärsäkkään (*Anthonomus rubi*) torjunnassa mansikat ruiskutetaan torjunta-aineella kahteen kertaan. Ensimmäinen ruiskutuskerta suoritetaan heti nappujen kehityttyä ja seuraava kerta on juuri ennen kukintaa (farmit.fi, 22.1.2021).

#### 1.3.1 Miten tuholaisiin liittyviä haasteita pyritään ratkaisemaan

Tutkimuslajina metsämansikka (*Fragaria vesca*) on mielenkiintoinen. Sukulaisuus viljelykäytössä olevan puutarhamansikan kanssa sekä sen sekvensoitu genomi tekevät siitä käyttökelpoisen mallilajin *Fragaria* suvun lajien tutkimuksessa (Longhi ym. 2014). Nämä ovat tekijöitä, jotka avaavat monet sovellusmahdollisuudet

metsämansikkatutkimuksessa ja ovat myös hyödynnettävissä laajalti mansikanviljelyyn. Metsämansikan puolustuskyvyn tunteminen eri tuhohyönteisiä vastaan on kuitenkin vielä melko vähäistä (Muola ym., 2017), joten tutkimuksen tekeminen metsämansikalla on mielekästä niin perustutkimuksen kuin mahdollisten tulevaisuuden maataloussovellusten kannalta. Muun muassa risteymälajikkeiden käyttö metsämansikka x puutarhamansikka, voi antaa mahdollisuuksia taloudelliseen ja tehokkaampaan mansikoidenviljelyyn esimerkiksi hyönteismyrkkyjen käytön vähentämisen osalta hyödyntämällä metsämansikoiden parempaa vastustuskykyä kasvinsyönteitä vastaan. Metsämansikan laajan geneettisen poolin hyötykäyttö edellyttää kuitenkin sen ominaisuuksien tuntemista. Esimerkiksi Egan ja kumppanit (2018) tutkivat artikkelissaan eri metsämansikkapopulaatioista kerättyjen yksilöiden kasvua, kukkien tuottoa ja pakkasen kestävyyttä, jotka ovat kaikki mansikanviljelyssä tärkeitä tekijöitä. Näiden tekijöiden ennustettavuutta tutkittiin evolutiivisesta näkökulmasta. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko muun muassa villipopulaatioiden maantieteellisen sijainnin perusteella päätellä jotain niiden geneettisistä ominaisuuksista. Tällaisten tietojen kerääminen antaa mahdollisuuksia tulevaisuudessa hyödyntää paremmin metsämansikan geneettistä variaatiota esimerkiksi jalostuksen avulla puutarhamansikan viljelyssä ja sen suojaamisessa kasvinsyöjiltä.

#### 1.4 Tutkimuksen tarkoitus ja kysymykset

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kahden eri kasvinsyöjähyönteisen avulla, miten isäntäkasvina toimivaan metsämansikkaan vaikuttavat hyönteisten aiheuttamat vahingot riippuen siitä, ovatko kasvit vastustuskykyisiä vai alttiita hyönteisen aiheuttamalle vauriolla. Luokitus vastustuskykyisiin ja alttiisiin kasveihin perustuu Weberin ja kumppaneiden (2020) tutkimukseen metsämansikalla ja mansikkanälvikkäällä (*Galerucella tenella*). Kasvinsyönnin aiheuttamia vaikutuksia mitataan kasvin kasvun ja lisääntymisen avulla. Tämän lisäksi tutkitaan mahdollisia resurssiristiriitoja kasvin puolustusominaisuuksissa, kasvussa ja lisääntymisessä. Tilanteessa, jossa kasvinsyöjiä ei olekaan läsnä, voi kasville aiheutua myös kustannuksia puolustusominaisuuksista. Huomioon otetaan myös se, onko kasville eroa sillä, onko kasvinsyöjiä kokeessa mukana yksi vai kaksi. Koska kasveilla on useita erilaisia puolustusstrategioita, on mielenkiintoista tutkia, tehoaako vastustuskyky toista lajia kohtaan myös muihin lajeihin. Tämän vuoksi kasvinsyöjälajeiksi tutkimukseen valikoitui kaksi mansikoille tyypillistä, mutta erilaista vauriota kasville aiheuttavaa lajia. Ensimmäinen laji on pääasiassa lehdillä ruokaileva ja niihin vauriota aiheuttava

mansikkanälvikäs. Mansikkanälvikäs valikoitui mukaan myös sen takia, että sitä oli käytetty tutkimuslajina Weberin ym. (2020) kokeessa ja metsämansikan vastustuskykyä oli tutkittu nimenomaan tämän lajin avulla. Toinen laji on mansikkaviljelyksillä runsaita satotappiota aiheuttava vattukärsäkäs (*Anthonomus rubi*), joka ruokailee ja laskee munansa mansikan kukkarakenteisiin vaurioittaen nappuja. Tutkimuskasviksi valikoitui metsämansikka sen monipuolisuuden vuoksi. Tässä tutkimuksessa käytetyt metsämansikat on valittu jo ennestään tutkitusta genotyypipoolista niin, että puolet metsämansikkagenotyypeistä on potentiaalisesti alttiimpia tutkimuksessa käytettävän toisen kasvinsyöjän, mansikkanälvikään (*Galerucella tenella*) aiheuttamalle vauriolle, kun taas toiset ovat vauriolle mahdollisimman vastustuskykyisiä (Weber ym., 2020).

Tätä tutkimusta tarkastellaan kolmen eri tutkimuskysymyksen avulla. Ensimmäinen kysymys käsittelee metsämansikoiden alttiutta kasvinsyöjien aiheuttamalle vauriolle. Aiemmin testattu vastustuskyky mansikkanälvikäälle ei välttämättä näyttäydä pienempänä määränä vauriota. Tämä johtuu siitä, että jos ravinto ei ole kasvinsyöjälle sopivaa, voi vauriota kasville tulla enemmän kasvinsyöjän joutuessa syömään suuremman määrän ravintoa saadakseen tarvitsemansa määrän ravinteita. Kysymys ottaa kantaa myös siihen, onko mansikkanälvikästä vastaan todetusta vastustuskyvystä hyötyä myös vattukärsäkästä kohtaan. Toisessa kysymyksessä tutkitaan vaikuttaako kasvinsyöjien aiheuttama vaurio kasvin kasvuun, lisääntymiseen ja kykyyn toipua saamastaan vauriosta, sekä sitä onko näissä eroa riippuen kasvinsyöjien määrästä ja kasvin alttiusluokituksesta. Kolmannessa kysymyksessä tarkastellaan puolustuksen kustannuksia kasville sen lisääntymisen kautta eli kasvin kykyyn tuottaa marjoja ja rönsyjä. Alla vielä kysymykset listattuna:

- 1) Eroaako kasvinsyöjien aiheuttaman vaurion määrä alttiiden ja vastustuskykyisten kasvien välillä ja onko tämä trendi sama riippumatta siitä, onko kasvinsyöjiä yksi vai kaksi?
- 2) Vaikuttaako kasvinsyöjien aiheuttama lehtivaurio kasvin kasvuun ja lisääntymiseen, ja onko näiden välillä eroa riippuen kasvinsyöjien määrästä ja kasvin alttiusluokituksesta?
- 3) Vaikuttaako kasvin alttiusluokitus sen kykyyn tuottaa marjoja ja rönsyjä?

## 2. Materiaali ja menetelmät

### 2.1 Tutkimuslajit

#### 2.1.1 Metsämansikka

Metsämansikka (*Fragaria vesca*) on ruusukasvien (*Rosaceae*) heimoon ja mansikkakasvien (*Fragaria*) sukuun kuuluva monivuotinen kasvi. Metsämansikan levinneisyys ulottuu Suomessa Etelä-Suomesta aina Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuun eteläosiin asti (Kasviatlas, 2018), mutta yksittäisiä havaintoja on tehty Lapista saakka. Muualla maailmassa metsämansikkaa esiintyy koko Euroopassa, sekä Pohjois-Aasiassa, -Amerikassa ja -Afrikassa, mikä tekee siitä laajimmalle levinneen *Fragaria* suvun lajin. (Darrow, 1966). Tyypillisesti metsämansikkaa voi tavata valoisasta kasvuympäristöstä kedoilta, teiden ja rautateiden varsilta. sekä niityiltä, mutta myös lehdoista ja sekametsistä. Laajan levinneisyytensä ja erilaisiin elinympäristöihin sopeutumisen vuoksi metsämansikka lienee sopeutuneen sietämään muuttuvista elollisista ja elottomista ympäristötekijöistä johtuvia erilaisia stressivasteita (Amil-Ruiz ym., 2011; Liston ym., 2014). Metsämansikan terälehdet ovat valkoiset ja kukinta ajoittuu pääasiassa touko-kesäkuulle. Kukkarakenteiden kehittyminen alkaa metsämansikalla jo kasvukautta edeltävänä syksynä (Heide & Sønsteby, 2007). Kasvukauden lopulla tapahtuva kasvinsyönti voikin vaikuttaa kehittyviin kukkarakenteisiin, mikä voi vaikuttaa seuraavan kesän kukintaan. Kasvinsyönnin vaikutus kukintaan voi tapahtua joko suoraan tai epäsuorasti. Suorasti kasvinsyönti vaikuttaa kukintaan silloin, kun esimerkiksi talviaikaan jokin kasvinsyöjä käy syömässä metsämansikkayksilöstä kukkarakenteita, jolloin kukkia ei voida näistä vaurioituneista rakenteista kesällä tuottaa. Epäsuora vaikutus kukintaan taas johtuu esimerkiksi siitä, että edellisen kasvukauden aikana tapahtunut kasvinsyönti vie kasvilta resursseja, jolloin sillä ei ole mahdollisuutta käyttää yhtä paljoa resursseja kesällä kukkimiseen (Muola & Stenberg, 2018). Suvullisen, marjojen avulla tapahtuvan lisääntymisen lisäksi metsämansikka lisääntyy rönsyjen avulla suvuttomasti. Rönsyjen tuotanto ajoittuu pääasiallisesti vasta kukinnan ja marjojen tuotannon jälkeen loppukesään.

#### 2.1.2 Mansikkanälvikäs

Lehtikuoriaisten (*Chrysomelidae*) heimoon kuuluvaa mansikkanälvikästä (*Galerucella tenella*) esiintyy avomaan mansikkaviljelmillä Pohjois-Euroopassa ja Venäjällä (Parikka & Tuovinen 2014). Mansikan lisäksi mansikkanälvikästä tavataan myös muilta ruusukasvien (*Rosaceae*) heimoon kuuluvilta kasveilta, kuten mesiangervolta

(*Filipendula ulmaria*) (Olofsson & Petersson 1992). Aikuiset mansikkanälvikkäät talvehtivat maaperässä, josta ne nousevat ruokailemaan isäntäkasvin lehdille huhti-toukokuussa. Parittelu tapahtuu touko-kesäkuun aikana ja munat munitaan isäntäkasvin lehdille. Munat kuoriutuvat kesä-heinäkuussa, jonka jälkeen toukat ruokailevat isäntäkasvin maanpäällisillä osilla ennen koteloitumista. Mansikkanälvikkäät ovat koteloituneina noin kahdeksan päivää, jonka jälkeen aikuiset kuoriutuvat. Ennen talvehtimaan asettumista ne ruokailevat vielä isäntäkasvinsa lehdillä (Olofsson & Petersson 1992).

Mansikkanälvikkäät syövät metsämansikoiden lehtiä, marjoja ja kukintoja. Tyypillinen mansikkanälvikkään aiheuttama vauriojälki on helposti tunnistettavissa; lehtiin tai kukan terälehtiin on syöty suurehkoja epäsäännöllisen mallisia reikiä (kuva 1). Kaikki kokeessa käytetyt mansikkanälvikkäät on kerätty Paraisilta isosta mesiangervopopulaatiosta (N 66,90395°, E 23,5768°) keväällä 2020.



Kuva 1. Tyypillistä mansikkanälvikkään aiheuttamaa vauriota metsämansikan lehdillä

### 2.1.3 Vattukärsäkäs

Suuria sadonmenetyksiä Suomessa ja muualla Euroopassa mansikkaviljelyksillä aiheuttava vattukärsäkäs (*Anthonomus rubi*) kuuluu kukkakärsäkkäiden (*Anthonomus*) sukuun. Ne talvehtivat aikuisina ja saapuvat mansikkapelloille keväällä ilman lämmitessä yli 10 °C:seen. Alkukevään vattukärsäkkäät ruokailevat mansikoiden lehdillä ja kukilla, kuitenkin aiheuttamatta suurempaa vauriota kasveille. Parittelun jälkeen touko-kesäkuussa naaraat munivat munansa mansikoiden nappuihin, jonka jälkeen ne katkaisevat kukkavarren poikki. Naaras munii aina yhden munan per nappu ja yksi naaras voi munia noin 20–30 munaa (Höhn ym., 1989; Krauß ym., 2014). Noin 5–10 päivän kuluttua muninnasta toukat kuoriutuvat. Aikuisiksi toukat kehittyvät nupun sisällä syöden kukan osia. Reilun kahden viikon jälkeen toukat ovat kehittyneet aikuisiksi ja tulevat ulos kuihtuneesta nupusta. (Höhn ym., 1989). Tämän kokeen vattukärsäkkäät keräsin aikuisina Kesskylän luomumansikkatilalta Paraisilta toukokuun alussa 2020.

Munien muniminen nappuihin ja toukkien kasvaminen nupuissa aiheuttaa suurimman vahingon kasville. Koska vahinko aiheutetaan nappuun, ei vaurioitettu nappu koskaan aukea kukaksi, jolloin vaurioituneeseen nappuun ei myöskään muodostu marjaa. Tämä aiheuttaa suuren alentuman kasvin kelpoisuudelle, sekä vähentää huomattavasti mansikkapelloilta saatavien satojen määrää. Vattukärsäkkään aiheuttama vaurio isäntäkasvin nappuihin vaihtelee 5–90 % välillä per isäntäkasvi ja pahimpina vuosina satotappioiden osuus mansikkaviljelyksillä voi olla jopa 60 % tai enemmän (Svensson 2002; Kovanci ym., 2005). Esimerkiksi Etelä-Norjassa vattukärsäkäs on luettu pahimmaksi satotappioita aiheuttavaksi tuholaiseksi mansikkaviljelmillä (Aasen ym., 2006). Pahimmin vattukärsäkkästä kärsivillä mansikkaviljelyksillä kemiallista hyönteistorjuntaa voidaan tehdä jopa neljästi vuodessa, mutta näiden ei ole todettu auttavan vattukärsäkkäiden määrän laskuun merkittävästi pelloilla (Aasen ym., 2006).



Kuva 2. Tyypillistä vattukärsäkkään aiheuttamaa nuppuvauriota metsämansikalla. Kuvassa toinen nuppu on katkaistu vattukärsäkkään munittua nuppuun. Kuva Anne Muola.

## 2.2 Koeasetelma

Pro gradu tutkielmassani tutkin kasvinsyönnin vaikutuksia vastustuskykyisiksi ja alttiiksi luokitelluilla metsämansikoilla. Lisäksi selvitän vastustuskyvyn vaikutusta kasvin kasvuun ja lisääntymiseen. Luokittelu vastuskykyisiin ja alttiisiin perustuu mansikkanälvikkään toukkien performanssin perusteella määritettyyn metsämansikoiden vastuskykyyn mansikkanälvikästä vastaan (Weber ym. 2020). Kyseisessä kokeessa metsämansikan eri genotyyppien vastustuskykyä mitattiin muun muassa mansikkanälvikkäiden elossasäilyvyyden ja kasvun kautta. Paremmen kasvaneiden ja elossasäilyneiden mansikkanälvikkäiden tulkittiin ruokaalleen alttiilla metsämansikoilla, joiden puolustus on heikompi. Myös mansikkanälvikkäiden munintapreferenssiä ja niiden kuoriutumista testattiin. Puolet kokeessa käyttämistäni kasveista ovat alttiita mansikkanälvikkään aiheuttamalle vauriolle ja puolet vastuskykyisiä. Vastuskyvyn vaikutusta tutkimuskasville mittasin kasvin kasvun, lisääntymisen, sekä suvullisen, että suvuttoman, ja kasvinsyönnistä aiheutuneen vaurion määrän avulla. Näiden lisäksi tutkin myös kasvin kykyä toipua saamastaan vauriosta. Tutkiakseni näitä tein kokeen, jossa kasvit jaettiin kolmeen käsittelyyn 1) kontrolli, 2) nälvikäskäsittely ja 3) nälvikäs + kärsäkäs käsittely. Nälvikäskäsittelyssä tutkimuskasvit altistettiin mansikkanälvikkään

aiheuttamalle vauriolle ja nälvikäs + kärsäkäs käsittelyssä molempien tutkimuksessa käytettävien kasvinsyöjien aiheuttamalle vauriolle.

Tutkiakseni näitä perustin kokeen Turun yliopiston Ruissalon kasvitieteellisen puutarhan alueella (60° 26' 0" N, 22° 10' 19" E) olevalla, keväällä 2019 pystytetyllä koealalla. Koeala on peitetty rikkaruohojen kasvun estämiseksi kevytpeitteellä ja sen ympärillä on 2 m korkuinen riista-aita, joka pitää muun muassa alueella elävät metsäkauriit loitolla. Koealalle rakennettiin kaksikymmentä umpinaista häkkiä, joista tässä kokeessa oli mukana viisitoista (kuva 2). Koehäkit ovat kooltaan 1,20 m x 1,20 m x 1,20 m. Koehäkkien runko koostuu puusta ja häkit on ympäröity päältä ja sivuilta kaksinkertaisella hallaharsolla. Hallaharso läpäisee valoa ja sadetta, mutta pitää ei-toivotut hyönteiset loitolla. Häkkien pohjalle, rungon sisäpuolelle, kiinnitettiin mansikkakatekangas, joten häkit ovat täysin umpinaisia oviaukkoa lukuun ottamatta. Oviaukko suljettiin työntämällä ylimääräinen hallaharso koehäkin rungon alle. Hallaharsojen paikallaanpysymisen ja häkkien umpinaisuuden varmistamiseksi hallaharsot kiinnitettiin vielä niiteillä runkoon. Jokaisessa koehäkissä on kaksi yksilöä kustakin alttiiksi ja vastustuskykyiseksi luokitellusta kokeessa käytetystä 14:sta eri metsämansikkagenotyypistä. Yhdessä häkissä on siis aina 28 metsämansikkaa. Metsämansikat on istutettu kasvatussäkkeihin (Kekkilän Natural Control -viljelylevy). Jokaisessa häkissä on neljä kasvatussäkkiä, joihin jokaiseen istutettiin seitsemän metsämansikkaa (kuva 3). Eri genotyypit on satunnaistettu kasvatussäkkeihin, kuitenkin niin, etteivät samaa genotyyppiä olevat yksilöt ole samassa kasvatussäkissä vierekkäin. Koska jokaisessa käsittelyssä on viisi häkkiä, on kussakin käsittelyssä yhteensä 140 kasvia ja koko kokeessa 420 kasvia. Eri käsittelyihin kuuluvien koehäkkien ja niiden sisällä olevien kasvatussäkkien sijainnit on satunnaistettu. Huomioitavaa on, että tässä kokeessa genotyyppiä käsitellään kahtena ryhmänä (vastustuskykyiset vs. alttiit), eikä genotyypin vaikutusta testata erikseen. Nälvikäskäsittelyn toteutin laittamalla jokaiseen kyseisen käsittelyn koehäkkiin kaksi mansikkänälvikästä jokaista koekasvia kohden. Jokaiseen nälvikäskäsittelyn häkkiin laitettiin siis yhteensä 56 mansikkanälvikästä. Tämä määrä vastaa laskennallisesti määrää, jossa kasveille alkaa aiheutua merkittävä määrä vauriota (Stenberg 2014). Mansikkanälvikkät laitettiin koehäkkeihin astiassa, joka laitettiin keskelle koehäkkiä. Näin mansikkanälvikkät saivat valita itse kasvin, jolle siirtyivät ruokailemaan. Nälvikäs + vattukärsäkäs käsittelyssä on mukana mansikkanälvikäiden lisäksi vattukärsäkkäitä, joita laitoin jokaiseen nälvikäs + kärsäkäs käsittelyn häkkiin kymmenen kappaletta). Näin ollen nälvikäs + kärsäkäs käsittelyn



häkeissä oli 56 mansikkanälvikästä ja kymmenen vattukärsäkästä. Vattukärsäkkäät siirrettiin häkkeihin samalla tavoin kuin mansikkanälvikkät. Vattukärsäkkäiden määrä ylittää avomaanviljelmillä käytetyn torjunnan aloituksen kynnyksen (MTT 2011), sillä metsämansikan kukintavaihe koehäkeissä on lyhyempi kuin avomaan viljelmillä ja halusin varmistaa, että vattukärsäkkäät ehtivät vaurioittaa kasveja tarpeeksi. Sekä mansikkanälvikkät että vattukärsäkkäät laitettiin häkkeihin toukokuun 2020 lopulla. Kontrollihäkkeihin ei lisätty kasvinsyöjiä ja koska häkit ovat umpinaisia, oletus on, että kontrollihäkit ovat vapaita kasvinsyöjistä koko kokeen ajan. Varotoimenpiteistä huolimatta osaan kontrollihäkeistä, sekä käsittelyhäkeistä pääsi kuitenkin sisään talvella 2019–2020 isompi kasvinsyöjä, jota epäiltiin joksikin myyräksi. Tämän kasvinsyöjän aiheuttama vaurio koekasveissa näkyi muun muassa lehtivauriona, niin että lehdistä oli purtu isompia palasia pois. Osa kasveista oli myös kaivettu osittain ylös kasvualustasta. Kun ensimmäiset vauriot kasveilla havaittiin, asensin myyräloukkuja sekä koehäkkien sisälle, että alueen reunoille. Aiheutunut vaurion määrä jäi kuitenkin suhteellisesti melko vähäiseksi. Kaikista koekasveista yhteensä kaksitoista kuoli myyrän aiheuttamiin vaurioihin. Näistä kasveista yksi oli kontrollikäsittelystä, seitsemän nälvikäskäsittelystä ja neljä nälvikäs + kärsäkäs käsittelystä.



Kuva 3. Koehäkit näkyvät ilmakuvassa oikealla. Mukana tässä kokeessa oli kahdestakymmenestä häkistä yhteensä viisitoista. Kuva Kalle Rainio.



Kuva 4. Kuva koehäkin sisältä. Häkissä on aina neljä säkkiä ja jokaisessa säkissä seitsemän mansikkaa.

## 2.3 Tutkimusmenetelmät

### 2.3.1 Tutkimuskasvien kasvun ja lisääntymisen seuranta

Tutkiakseni käsittelyiden ja vastustuskyvyn vaikutusta koekasveihin, mittasin niiden kasvua, suvullista ja suvutonta lisääntymistä, sekä kasvinsyöjien aiheuttaman vaurion määrää. Metsämansikoiden kasvua mittasin laskemalla lehtien lukumäärän. Lehtien lukumäärä laskettiin aivan kasvukauden alussa (alkukoko 8.5.2020) sekä kasvukauden ja samalla kokeen lopussa (loppukoko 14.8.2020). Näiden mittaustuloksien erotuksesta saadaan laskettua kasvin koon kasvu kokeen aikana, joka on tässä tapauksessa myös käytännössä koko kasvukauden aikana tapahtunut kasvu. Lehtien lukumäärää metsämansikan koon arvioinnissa on käytetty myös aiemmissa tutkimuksissa (Muola & Stenberg, 2018).

Koska metsämansikka lisääntyy sekä suvullisesti, että suvuttomasti, on lisääntymisen mittaamisessa otettu mukaan metsämansikan molemmat lisääntymismenetelmät. Suvullisen lisääntymisen mittaamiseksi kasveilta keräsin talteen marjat kolmena eri keräyskertana kesä-heinäkuun vaihteessa, jotta jokaisen kasviyksilön kaikki marjat saataisiin talteen. Jokaisen kasvin marjojen lukumäärä kirjattiin ylös, jonka jälkeen marjat

kerättiin genotyypeittain ja käsittelyittäin samaan astiaan. Marjoja kuivattiin huoneenlämmössä ensin noin kuukauden ajan, jonka jälkeen uunissa 40 asteessa kaksi vuorokautta. Tämän jälkeen niiden kuivapaino punnittiin. Keskimääräinen marjojen biomassa kullekin kasviyksilölle laskettiin jakamalla kunkin genotyypin kustakin käsittelystä saama marjojen kuivapaino kyseisen kasviyksilön marjojen lukumäärällä. Suvutonta lisääntymistä mittasin keräämällä jokaisen koekasvin tuottamat rönsyt paperipussiin. Rönsyt säilytettiin huoneenlämmössä noin kaksi viikkoa, minkä jälkeen ne kuivattiin uunissa (40 astetta, yksi vuorokausi) ja niiden kuivapaino punnittiin. Koska rönsyjen biomassa korreloi niiden määrän kanssa, ei rönsyjen lukumäärää laskettu erikseen. Samanlaista menetelmää suvuttoman lisääntymisen mittaamiseen on käytetty myös muissa tutkimuksissa. (Muola & Stenberg 2018)

### 2.3.2 Kasvinsyöjien aiheuttaman vaurion arviointi

Mansikkanälvikkäiden aiheuttaman lehtivaurion määrä arvioitiin 24.6.2020 tehdyllä arviointikierroksella, johon osallistui useampia henkilöitä. Lehtivaurion arviointi tehtiin prosenttiarvioina per lehti eli toisin sanoen arvioitiin, kuinka monta prosenttia lehden pinta-alasta on vaurioitettu. Vaurio arvioitiin jokaiselle lehdelle erikseen, sillä se on tarkempi menetelmä kuin koko kasvin vaurioprosentin kerrallaan arviointi. Arvioijien kesken sovittiin, että vaurioprosentin arvioinnissa käytetään hyväksi metsämansikan lehden jakaantumista kolmeen lehdykkään, jossa yhden lehdykän arvioidaan olevan noin 30 %. Näin saatiin arvioijien kesken mahdollisimman yhteneväiset menetelmät arvioida lehtivaurion määrä, sekä poistettua useammasta arvioijasta johtuvaa virhevaihtelua. Samanlaista lehtivaurion arviointimetodia on käytetty myös aiemmissa tutkimuksissa, muun muassa (Wang ym. 2020). Koska mansikkanälvikkäät syövät myös kukkarakenteita, selvitettiin myös niiden aiheuttamaa kukkavauriota laskemalla vaurioituneiden kukkien määrää. Jos kukan terälehdessä oli mansikkanälvikkään aiheuttama syöntijälki, merkittiin se ylös mansikkanälvikkään aiheuttamana kukkavauriona.

Vattukärsäkkään aiheuttaman nuppuvaurion määrä selvitettiin laskemalla vaurioituneet nuput koekasveista kolmella eri mittauskierroksella touko-kesäkuun aikana.

Vattukärsäkkään aiheuttama vaurio on helppo havaita, sillä kukkavarsi on katkaistu kokonaan tai osittain poikki hiukan nupun alapuolelta. Tällöin nuppu jää ikään kuin ”roikkumaan”.

### 2.3.3 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit suoritin SAS Enterprise Guide 7.1. ohjelmistolla. Analyyseissä selittävinä luokkamuuttujina olivat käsittely, kasvin vastustuskyky vauriolle (asteikolla vastustuskykyinen ja altis), sekä näiden yhteisvaikutus. Vastemuuttuja valikoitui malliin aina tutkimuskysymyksessä tutkittavan aiheen mukaan. Näin ollen vastemuuttujina käytin lehti- ja kukkavaurion määrää, rönsyjen massaa, sekä marjojen lukumäärää. Samaiset vastemuuttujat saattoivat olla mallissa mukana kysymyksestä riippuen myös jatkuvina selittävinä muuttujina. Kasvin kasvun laskin loppu- ja alkukoon erotuksesta. Lehtivaurion prosenttiosuudet muutettiin välille 0,0001–1, jotta ne saatiin sopimaan malliin. Kukkavauriomuuttuja on kasvissa kokonaisuudessaan esiintyvä kukkavaurion määrä. Eli esimerkiksi nälvikäs+kärsäkäs käsittelyssä molempien kasvinsyöjähyönteisten aiheuttama vaurio on laskettu yhteen ja nälvikäskäsittelyssä mukana on vain nälvikkäiden aiheuttama vaurio. Satunnaismuuttujiksi malleihin laitettiin kasvien kasvatussäkit, sekä häkit. Koska kokeessa on aina viisi häkkiä yhden käsittelyn sisällä ja neljä säkkiä yhden häkin sisällä, on malleissa häkki pesitetty käsittelyn alle ja säkki pesitetty häkin alle, jotta mahdollinen häkkien tai säkkien sijaintiin liittyvä vaikutus voitiin poistaa.

Kaikki analyysit suoritin SAS:in GLIMMIX proseduurilla. Ensimmäisessä analyysissä testasin, eroaako lehtivaurion määrä alttiiden ja vastustuskykyisten kasvien välillä, sekä sitä onko käsittelyllä vaikutusta tähän. Vastemuuttujana testissä oli lehtivaurion määrä. Koska lehtivaurion määrä kasveissa oli hyvin pientä, ei jakauma ollut normaali, joten käytin analyysissä Beta -jakaumaa. Selittävinä muuttujina analyysissä olivat alttiusluokitus ja käsittely. Kovariaatiksi analyysiin laitoin kasvin koon, sillä aiemmista tutkimuksista tiedetään, että kasvinsyöjät suosivat yleensä suurempia kasveja (Price 1991; Cornelissen ym. 2008, Muola & Stenberg 2018). Kovariaattia käyttämällä kasvin koon vaikutus saadaan minimoitua.

Seuraavissa analyyseissä testasin lehti- ja kukkavaurion vaikutusta kasvien kasvuun sekä suvulliseen ja suvuttomaan lisääntymiseen. Lehti- ja kukkavaurion vaikutuksia testasin erillisissä analyyseissä. Nämä analyysit suoritin vain hyönteiskäsittelyissä olleille kasveille, sillä nimenomainen kiinnostus on kasvinsyöjien aiheuttamassa vauriossa. Suvullista lisääntymistä mittasin marjojen lukumääränä ja suvutonta lisääntymistä rönsyjen kuivapainona. Analyyseissä vastemuuttujina olivat siis joko kasvu, marjojen lukumäärä tai rönsyjen massa. Selittävinä muuttujina olivat joko lehti- tai kukkavaurio, alttiusluokitus ja käsittely. Kasvin koko oli jälleen kovariaattina marjojen ja rönsyjen analyysissä. Koska olen tutkimuksessani kiinnostunut myös mahdollisista

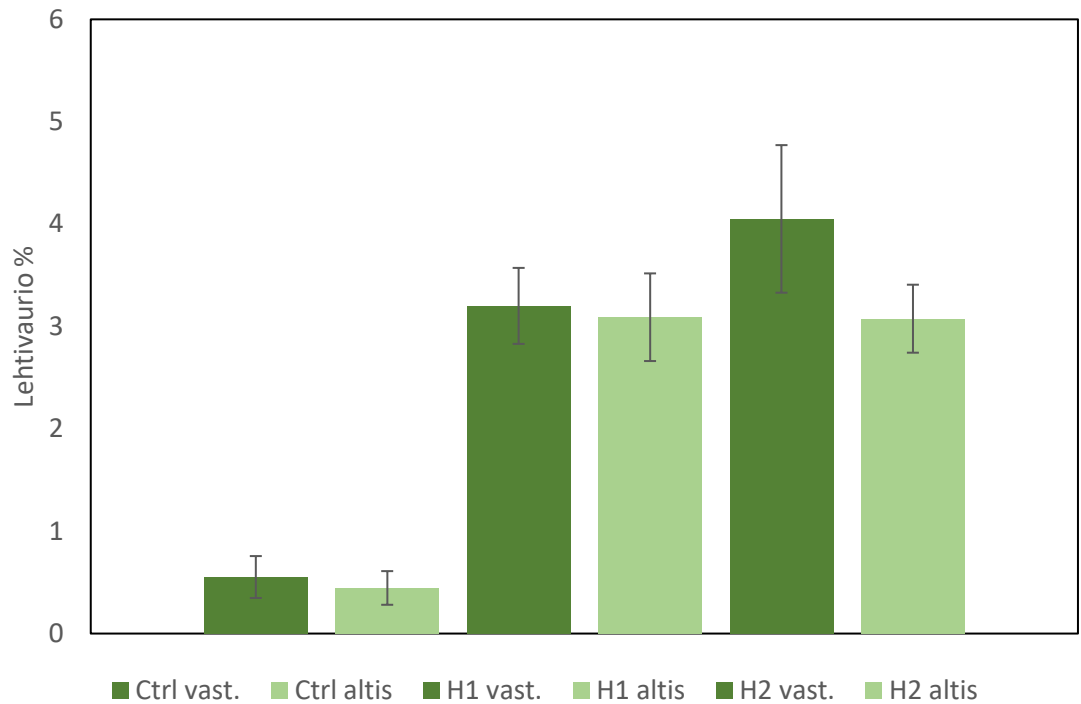
resurssiristiriidoista, testasin kasvin kasvun lisäksi erikseen koko aineistolla, niin, että myös kontrollikasvit olivat mukana. Tässä analyysissä selittävinä muuttujina olivat alttiusluokitus ja käsittely. Koska marjojen lukumäärä aineisto ei ollut normaalisti jakautunut, tein kyseisen analyysin käyttäen Poissonin jakaumaa. Vaikutukset kasvuun ja rönsojen tuottoon testasin normaalijakaumalla.

Viimeisessä analyysissä testasin kasvien alttiusluokituksen vaikutusta kasvien suvuttomaan ja suvulliseen lisääntymiseen. Tein analyysit erikseen marjojen lukumäärälle ja rönsoille, jotka toimivat analyysissä myös vastemuuttujina. Selittävinä muuttujana oli kasvin alttiusluokitus ja kovariaattina jälleen kasvin koko. Koko valikoitui jälleen kovariaatiksi, sillä aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että suuremmat kasvit usein lisääntyvät tehokkaammin (esim. Harper 1977; Muola & Stenberg 2018).

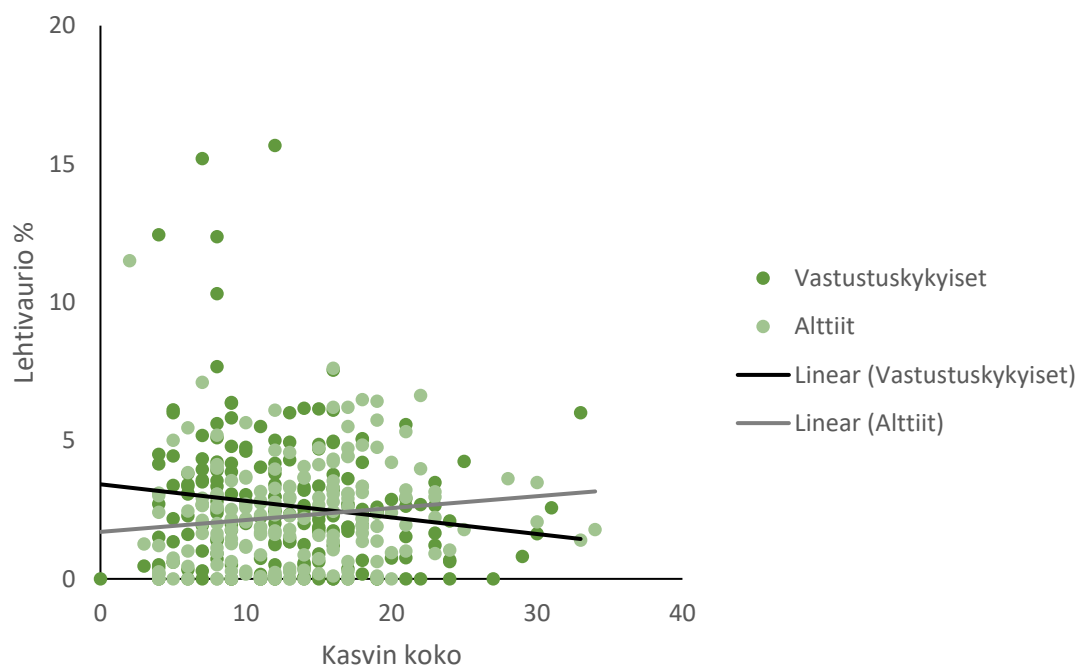
### 3. Tulokset

Mansikkanälvikkään aiheuttama lehtivaurion määrä oli kokeessa keskimäärin hyvin vähäistä: nälvikäs-käsittelyssä 3 %,  $\pm 0,6$  (keskiarvon keskivirhe) ja nälvikäs + kärsäkäs-käsittelyssä 3 %,  $\pm 0,6$  (keskiarvon keskivirhe). Kontrollikäsittelyssä vauriota oli jonkin verran, mutta määrä oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuin kasvinsyöjäkäsittelyissä (0,4 %,  $\pm 0,09$  (keskiarvon keskivirhe)). Tämä oli kokeen kannalta myös tarkoituksenmukaista, sillä kontrollikäsittelyssä ei kuulunutkaan tulla vauriota kasveille. Nälvikäs + kärsäkäs-käsittelyssä alttiita kasveja on syöty merkitsevästi vähemmän kuin vastustuskykyisiä kasveja ( $p = 0,0003$ ,  $t = 3,65$ ,  $DF = 328$ ). Vaikka tilastollisesti merkitsevä ero alttiusluokitusten väliltä löytyy ainoastaan nälvikäs + kärsäkäs-käsittelystä, on trendi kaikissa käsittelyissä kuitenkin sama (kuva 5).

Mallissa kasvin kovariaattina olleen kasvin koon ja alttiusluokituksen välinen yhdysvaikutus oli lähes merkitsevä ( $p = 0,0505$ ,  $F = 3,85$ ,  $DF = 328$ , 1; Kuva 6). Kasvin koko vaikuttaa lehtivaurion määrään eri tavoin alttiusluokkien välillä. Alttiilla kasveilla lehtivaurion määrä kasvaa kasvin koon kasvaessa. Vastustuskykyisillä kasveilla tilanne on taas päinvastainen eli vastustuskykyisillä kasveilla lehtivaurion määrä on suurempi pienemmillä kasveilla.



Kuva 5. Lehtivaurion määrä alttiilla (vaaleanvihreä) ja vastustuskykyisillä (tummanvihreä) kasveilla eri käsittelyissä (Ctrl = kontrolli, H1 = nälvikäs, H2 = nälvikäs + kärsäkäs). Luottamusvälit (95 %), keskiarvo ± keskivirhe.



Kuva 6. Kasvin koon ja lehtivaurion välinen yhteys alttiilla ja vastustuskykyisillä kasveilla. Kasvin koko on laskettu lehtien lukumääränä.

Taulukko 1. GLIMMIX proseduurin tulokset lehtivaurion ja alttiusluokituksen, sekä näiden yhdysvaikutuksen merkityksistä kasvien kasvuun, suvuttomaan (rönsyt) ja suvulliseen (marjat) lisääntymiseen eri hyönteiskäsittelyissä. Kasvin koko oli kovariaattina lehtivaurion ja alttiusluokituksen vaikutusta kasvin lisääntymiseen testaavissa malleissa. Taulukossa esitettyinä p-arvo, F-testisuure ja vapausasteet.

Kasvu	p	F/t	DF
Lehtivaurio	0,4335	0,62	212, 1
Alttiusluokitus	0,0014	10,43	212, 1
Lehtivaurio x alttiusluok.	0,877	0,92	212, 1
<b>Rönsyt</b>			
Lehtivaurio	0,4362	0,61	216, 1
Alttiusluokitus	0,4039	0,7	216, 1
Lehtivaurio x alttiusluok.	0,1429	2,16	216, 1
Kasvin koko	0,039	4,31	216, 1
<b>Marjat</b>			
Lehtivaurio	0,8669	0,03	213, 1
Alttiusluokitus	0,0795	3,1	213, 1
Lehtivaurio x alttiusluok.	0,3207	0,87	213, 1
Kasvin koko	<0,0001	131,77	213, 1

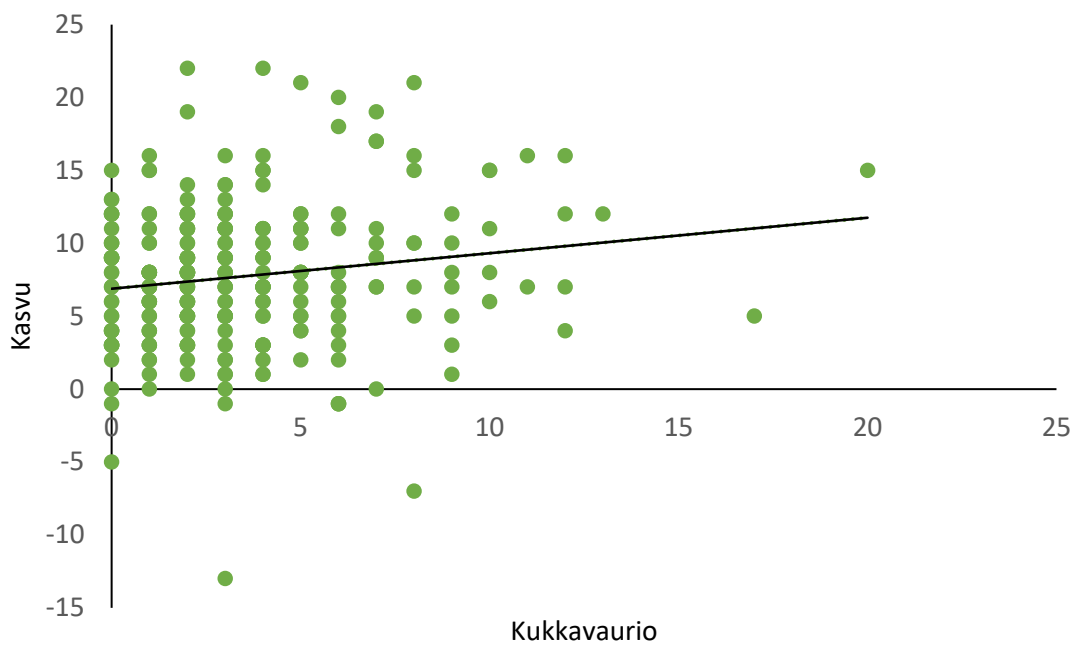
Lehtivaurion määrällä ei ole vaikutusta kasvin kasvuun, suvulliseen tai suvuttomaan lisääntymiseen (taulukko1). Kuten lehtivaurion määrä, myös kukkavaurion määrä jäi kokeessa suhteellisen pieneksi. Vaurioituneiden kukkien keskiarvoinen määrä käsittelyittäin: kontrolli  $0,02 \pm 0,15$  (keskiarvon keskivirhe), nälvikäskäsittely  $2,4 \pm 2,02$  (keskiarvon keskivirhe) ja nälvikäs + kärsäkäs käsittely  $4,61 \pm 3,78$  (keskiarvon keskivirhe). Kontrollikäsittelyssä vaurion määrä on jälleen huomattavasti pienempi, kuin hyönteiskäsittelyissä, joten kontrollikäsittelyn voidaan nähdä toimineen oikein.

Malleissa kovariaattina ollut kasvin koko vaikuttaa merkitsevästi kasvien kykyyn tuottaa niin marjoja ( $p < 0,0001$ ,  $F = 131,77$ ,  $DF = 213,1$ ; taulukko 1) kuin rönsyjä ( $p = 0,0390$ ,  $F = 4,31$ ,  $DF = 216, 1$ ; taulukko 1). Isommat kasvit ovat siis tuottaneet enemmän marjoja ja rönsyjä kuin pienemmät kasvit. Myös kukkavaurion määrä vaikuttaa merkitsevästi sekä kasvien kasvuun ( $p = 0,0221$ ,  $F = 5,31$ ,  $DF = 213, 1$ ; kuva 7), että marjojen tuotantoon yhdessä käsittelyn kanssa ( $p < 0,0001$ ,  $F = 16,91$ ,  $DF = 213, 1$ ; kuva 9). Kukkavaurion merkitsevä vaikutus kasvuun ja marjojen tuotantoon tulee mallissa ilmi kovariaatista huolimatta.

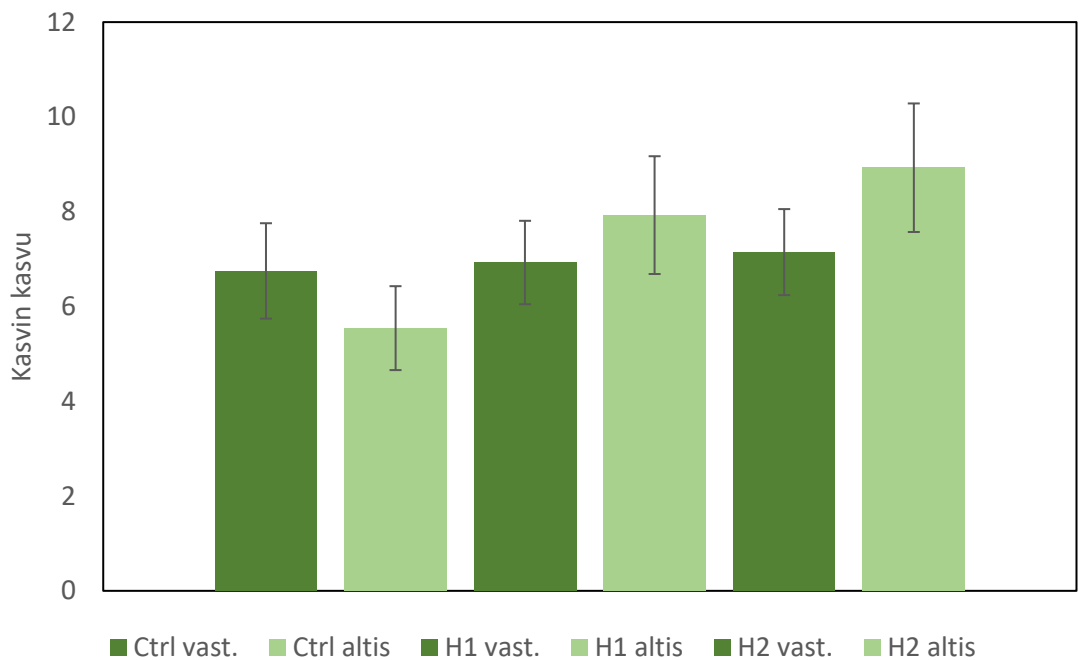
Kukkavaurion ja käsittelyn yhdysvaikutus johtuu siitä, että kulmakertoimet käsittelyiden nälvikäs ja nälvikäs + kärsäkäs välillä ovat eriävät (kuva 9). Kukkavaurion lisääntyessä marjojen tuotto kasvaa siis enemmän nälvikäskäsittelyssä, kun taas nälvikäs + kärsäkäs käsittelyssä kasvu ei ole niin huomattavaa. Nälvikäs + kärsäkäs käsittelyssä kukkavauriota on myös enemmän, kuin nälvikäskäsittelyssä (kuva 9).

Kuten kuvasta 7 voidaan huomata, kukkavaurion määrän kasvaessa kasvin kasvu eli tässä tapauksessa lehtien lukumäärä kasvaa myös. Sama havainto voidaan tehdä myös marjojen kohdalla, joiden määrä kasvaa kukkavaurion lisääntyessä (kuva 9). Kasvin kasvuun vaikuttaa kukkavaurion lisäksi hyönteiskäsittelyissä sen alttiusluokitus ( $p = 0,0014$ ,  $F = 10,43$ ,  $DF = 212, 1$ ; kuva 8; taulukko 1). Alttiit kasvit ovat kasvaneet hyönteiskäsittelyissä keskimäärin enemmän kuin vastustuskykyiset kasvit (kuva 8). Kun mukaan otetaan kontrollikasvit, tulee alttiusluokituksesta merkitsevä yhdessä käsittelyn kanssa ( $p = 0,0042$ ,  $F = 5,57$ ,  $DF = 315, 2$ ; kuva 8). Hyönteiskäsittelyissä alttiit kasvit ovat kasvaneet paremmin, kun taas kontrollikäsittelyssä tilanne päinvastainen ja alttiit kasvit ovat kasvaneet vastustuskykyisiä heikommin. Alttiusluokitusten ei kuitenkaan havaittu vaikuttavan kukkavaurion määrään tai kykyyn tuottaa marjoja ja rönsyjä (taulukko 1).

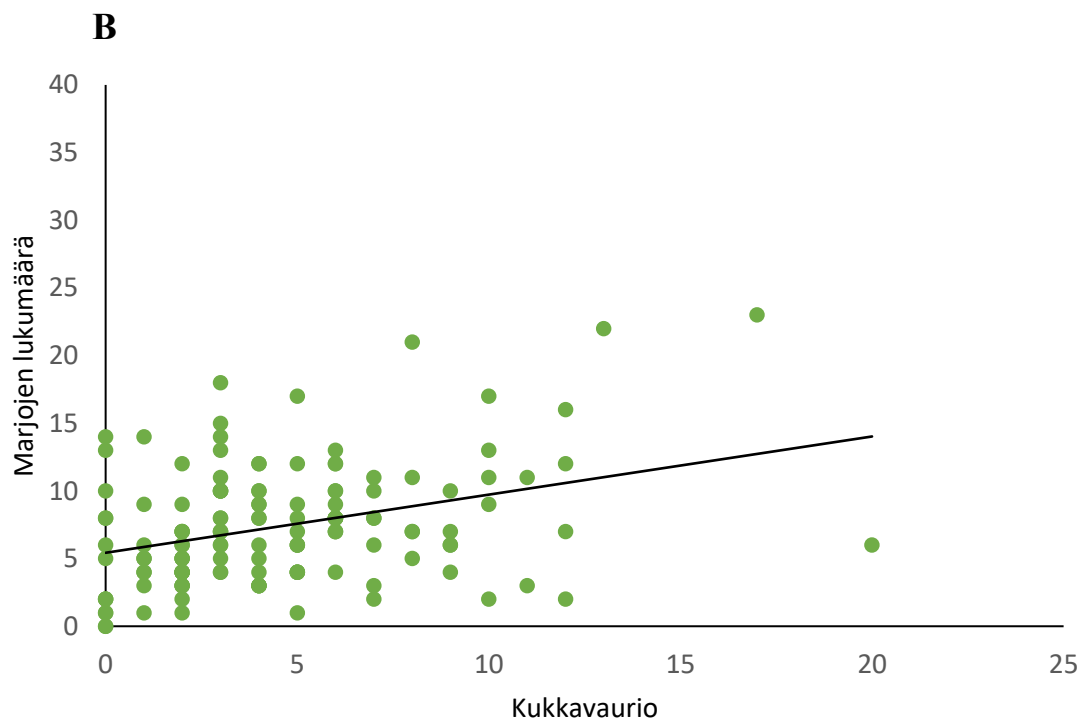
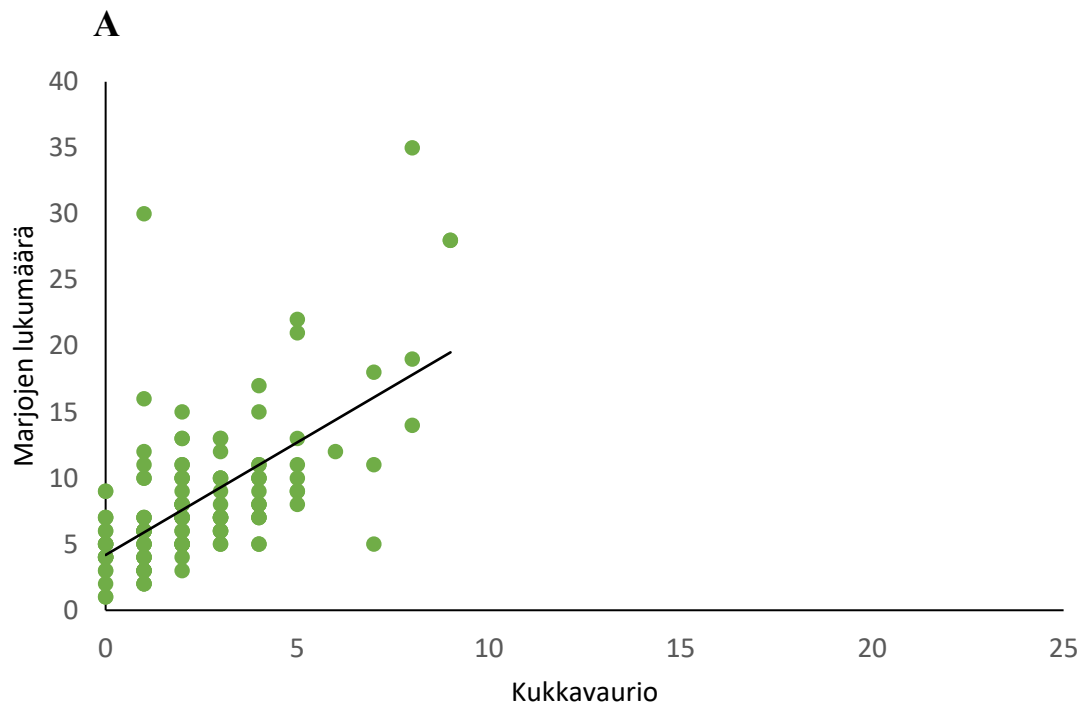




Kuva 7. Kukkavaurion määrän ja kasvin kasvun välinen yhteys molemmissa hyönteiskäsittelyissä.



Kuva 8. Kasvien kasvu käsittelyittäin ja alttiusluokituksittain. Ctrl = kontrolli, H1 = nälvikäs, H2 = nälvikäs + kärsäkäs. Luottamusvälit (95 %), keskiarvo  $\pm$  keskivirhe.



Kuva 9. Kukkavaurion ja marjojen tuotannon välinen yhteys a) nälvikäs käsittelyssä ja b) nälvikäs + kärsäkäs käsittelyssä

## 4. Pohdinta

Tämän kokeen tulosten perusteella voidaan sanoa, että alttiusluokituksella on merkitystä mansikkanälvikkäiden aiheuttaman lehtivaurion määrään. Tämä vaikutus oli nähtävissä, vaikka kokeessa olleen lehtivaurion määrä jäikin kokonaisuudessaan hyvin pieneksi. Kuitenkin vastoin odotuksia, kokeessa olleita vastustuskykyisiä kasveja oli syöty enemmän kuin alttiita kasveja. Alttiusluokituksella on myös vaikutusta kasvinsyöjän preferenssiin kasvin koon suhteen. Kun kasvi on vastustuskykyinen, valikoi mansikkanälvikäs tällöin mieluummin pienemmän kasvivyksilön ravinnonlähteekseen. Alttiilla kasveilla sen sijaan oli enemmän vauriota, mitä suurempia ne olivat. Tulokset koon preferenssin suhteen olivat siis alttiusluokitusten välillä päinvastaiset.

Vaikka en havainnut lehtivauriolla olevan merkitystä koekasvien kasvuun tai lisääntymiseen, oli kukkavauriolla kuitenkin vaikutusta näihin molempiin tekijöihin. Mitä enemmän kukkavauriota kasveissa oli, sitä enemmän ne tuottivat uusia lehtiä. Kukkavaurion vaikutus näkyi myös kasvien marjojen tuotossa. Jälleen kerran suurempi kukkavaurion määrä, joka siis tässä kokeessa kattaa sekä mansikkanälvikkään, että vattukärsäkkään aiheuttaman vaurion, johti lukumäärällisesti suurempaan määrään marjoja. Nälvikäs ja nälvikäs + kärsäkäs käsittelyiden välillä oli tässä tuloksessa kuitenkin eroa. Nälvikäskäsittelyssä marjojen määrän lisääntyminen suhteessa kukkavaurioon oli huomattavasti suurempaa kuin nälvikäs + kärsäkäskäsittelyssä. Kukkavaurion määrällä ei sen sijaan ollut vaikutusta rönsyjen tuotantoon. Tämä tulos oli kuitenkin odotettavissa, sillä rönsyjen tuotanto kasveissa jäi kokonaisuudessaan hyvin pieneksi ja myös aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, ettei kasvinsyönnillä ole vaikutusta rönsyjen tuotantoon (Muola & Stenberg 2018).

### 4.1 Alttiusluokituksen vaikutukset

Tässä kokeessa metsämansikan aiemmin todettu vastustuskyky mansikkanälvikkästä vastaan (Weber ym. 2020) ei vaikuttanut kasvien kokemaan lehtivaurion määrään. Vastustuskykyisten kasvien suurempi syöntiaste voi olla seurausta useammasta eri tekijästä. Weberin ym. 2020 kokeessa metsämansikan vastustuskykyä tutkittiin mansikkanälvikkään performanssin kautta, eikä nälvikkäälle annettu mahdollisuutta valita ruokaansa. Kasvin vastustuskykyä mitattiinkin mansikkanälvikkään kasvun ja kuolleisuuden kautta. Tässä kokeessa tutkimusasetelma oli kuitenkin päinvastainen. Kokeessa olevilla mansikkanälvikkäillä oli mahdollisuus valita kasvi, jolla ruokailee. Näin ollen vastustuskykyisten kasvien suurempi vaurion määrä saattaa johtua muun

muassa siitä, että mansikkanälvikkään on syötävä vastustuskykyistä kasvia enemmän, jotta se saa täytettyä tarvitsemansa energian tarpeen.

Kasvin koolla on usein myös vaikutusta kasvinsyönnin määrään ja eri kasvinsyöjien tiedetäänkin usein suosivan isompikokoisia kasveja (Price 1991; Cornelissen ym. 2008). Myös metsämansikoilla on havaittu tämä sama trendi (Muola & Stenberg 2018). Tässä kokeessa alttiiden kasvien kohdalla tilanne oli juurikin tämä, sillä vaurion määrä kasveissa nousi tasaisesti kasvin koon kasvaessa. Alttiit kasvit olivat myös kasvaneet hyönteiskäsittelyissä vastustuskykyisiä kasveja enemmän kokeen aikana, mikä saattaa vaikuttaa tulokseen. Kasvin kasvaessa se tuottaa uusia lehtiä, joita kasvinsyöjät usein suosivat vanhojen lehtien sijaan (Caldwell ym., 2016). Näin ollen enemmän kasvaneet kasvit ovat potentiaalisesti isompia ja houkuttelevampia ravintokohteita, ja näin ollen saaneet enemmän vauriota. Vastustuskykyisten kasvien kohdalla tilanne oli kuitenkin päinvastainen, ja ne olivat houkuttelevampaa ravintoa pienikokoisempina. Tähän voi olla syynä esimerkiksi kasvin yleiskunto ja muut biologiset syyt, kuten jokin kasvin kuntoa heikentävä tauti. Enemmän vauriota saaneet pienet vastustuskykyiset kasvit ovat voineet jäädä pienemmiksi jonkin biologisen syyn vuoksi, jolloin kasveilla ei ole ollut resursseja tuottaa puolustusyhdisteitä, mikä näkyy suurempana määränä vauriota. Kyseisessä tuloksessa myös muutamalla yksittäisellä kasvulla on todennäköisesti ollut suuri vaikutus tulokseen, sillä kuudella kasvulla oli vauriota huomattavasti enemmän kuin muilla kokeen kasveilla. Kuitenkaan tässä kokeessa havaitut suurimmat vauriomäärät eivät ole muissa kokeissa olleet mitenkään poikkeuksellisia. Esimerkiksi Muola ja Stenberg (2018) tekivät metsämansikalla ja mansikkanälvikkäällä kokeen, jossa lehtivaurion määrä saattoi nousta jopa 50 %:iin. Myös mittausvirheen mahdollisuus on suljettu pois, joten syyt vastustuskykyisten kasvien takana ovat biologisia. Koska kokeessa käytetyt kasvit edustavat useampaa eri genotyyppiä myös alttiusluokkien sisällä, oli mielenkiintoista tämän tuloksen kohdalla tarkistaa myös mahdollinen genotyypin aiheuttama vaikutus. Tällaista genotyypin aiheuttamaa vaikutusta ei kuitenkaan löytynyt, vaan vauriomäärä oli jakautunut genotyyppien osalta suhteellisen tasaisesti.

Alttiusluokituksella ei ollut tässä kokeessa vaikutusta kukkavaurion määrään. Tämän tuloksen perusteella voitaisiin siis sanoa, että kasvin vastustuskyvystä lehtivauriota vastaan ei ole hyötyä kukkiin kohdistuvaa kasvinsyöntiä kohtaan. Tässä kokeessa kukkavaurion määrä oli kuitenkin jokseenkin pieni ja vaihtelun määrä kukkavaurion määrässä oli suurta. Onkin siis mahdollista, että suuremmalla määrällä kukkavauriota tulokset olisivat voineet olla erilaiset. Sama pätee myös lehtivaurion kohdalla, jonka

määrä kokeessa jäi pieneksi. Vaikka kasvinsyöjien määrä kokeeseen oli laskettu viljelyksillä käytettävien riskiarvojen mukaan, jäi kasvinsyöjien aiheuttaman vaurion määrä hyvin pieneksi odotuksiin nähden. Yksi syy tähän saattaa olla häkkeihin kohdistuneet abioottiset tekijät, kuten lämpötila, joka nousi kesän aikana huomattavan korkealle häkkien sisällä. Voikin siis olla, että sekä mansikkanälvikkää, että vattukärsäkkää ovat kärsineet kovasta kuumuudesta niin paljon, että niiden normaali toiminta heikentyi, mikä näkyi vähempänä määränä vauriota kasveissa. Myös kasvien laatu on saattanut heikentyä kuumuuden aiheuttaman stressin vuoksi, jolloin ne eivät ole olleet niin houkuttelevaa ravintoa kasvinsyöjille. Muun muassa Muola ja Stenberg (2018) totesivat artikkelissaan, että mansikkanälvikkään aiheuttaman vaurion suuruus metsämansikassa pitää olla noin 25 %:in luokkaa, jotta kasvissa voidaan havaita vaurion aiheuttamia vaikutuksia muun muassa kasvuun ja marjojen määrään. Tässä kokeessa ei saavutettu lähellekään noin suuria vauriomääriä, mikä varmasti vaikuttaa kokeen tuloksiin.

Koska alttiusluokitus ei vaikuttanut kasvien kukkavaurion määrään, oli odotettavissa, ettei alttiusluokituksella ollut vaikutusta myöskään kasvien lisääntymiselle. Kokeen perusteella voidaankin siis ajatella, etteivät kokeessa olleet kasvit kokeneet resurssiristiriitoja vastustuskyvyn ja lisääntymisen välillä. Tätä ajatusta puoltaa myös tulos siitä, että kontrollikäsittelyssä, jossa kasvinsyöjiä ei ollut, vastustuskykyiset kasvit olivat kasvaneet enemmän. Tämä tulos kertoo siitä, ettei vastustuskyky mansikkanälvikästä vastaan aiheuta haittaa kasvin kelpoisuudelle myöskään tilanteessa, jossa kasvinsyöjiä ei ole läsnä. Samansuuntaisia tuloksia saivat myös Simms ja Rausher (1987) kokeessaan aitoelämänlangalla (*Ipomoea purpurea*) ja varsikirppoihin (*Chaetocnema*) kuuluvalla lajilla *Chaetocnema confinis*. Kyseisessä tutkimuksessa ei löydetty resurssiristiriitaa kasvin puolustuksen ja kelpoisuuden välillä.

## 4.2 Käsittelyn vaikutukset

Kahdella eri kasvinsyöjäkäsittelyllä oli vaikutusta kukkavaurion ja marjojen lukumäärään. Sekä nälvikäs-, että nälvikäs + kärsäkäs käsittelyissä marjojen lukumäärä lisääntyi kukkavaurion lisääntyessä. Nälvikäskäsittelyssä marjojen lukumäärän lisääntyminen oli kuitenkin huomattavasti selkeämpää kuin käsittelyssä, jossa oli mukana myös kärsäkkäitä. Tulos marjojen lukumäärän lisääntymisestä kukkavaurion määrän kasvaessa on mielenkiintoinen, mutta ei kuitenkaan täysin odottamaton. Yksi selitys tulokselle pohjautuu kasvien koon ja marjojen tuoton väliseen positiiviseen korrelaatioon, jota on havaittu niin aiemmissa tutkimuksissa (Harper 1977; Muola & Stenberg 2018)

kuin nyt myös tässä tutkimuksessa. Koska isommat kasvit tuottavat enemmän kukkia, on niissä myös enemmän marjoja. Isommat kasvit houkuttelevat myös enemmän kasvinsyöjiä (Price 1991; Cornelissen ym. 2008), jolloin vaurion määrä on todennäköisesti suurempi. Näin ollen tulosta kukkavaurion määrän ja marjojen positiivisen korrelaation suhteen voidaankin ainakin osittain selittää kasvin koolla.

Toinen selitys perustuu kokeessa käytettävien kasviensyöjien eriävään käytökseen. Nälvikkäiden aiheuttama vaurio metsämansikoiden kukille ei useinkaan estä marjan syntymistä kukkaan, sillä vaurio aiheutuu usein kukan terälehtiin, joita mansikkanälvikkäät syövät. Liikkuessaan kukalta toiselle mansikkanälvikkäät voivat potentiaalisesti jopa toimia pölyttäjinä kasveille, jolloin marjoja voi muodostua enemmän. Nälvikäs + kärsäkäs käsittelyssä marjojen lukumäärän kasvu ei ollut vauriomäärään suhteutettuna niin voimakasta. Tämä tulos selittyy todennäköisesti ainakin suurimmilta osin vattukärsäkkään vaikutuksesta. Vattukärsäkkäiden aiheuttama vaurio kohdistuu metsämansikoiden nappuihin, joihin se munii. Muninnan jälkeen kukkavarsi nupun alta katkaistaan, jolloin munituista nupuista ei synny kukkaa, eikä marjaa. Näin ollen vattukärsäkkäiden aiheuttama vaurio vähentää mansikkanälvikkäiden aiheuttamaa osittaista positiivista vaikutusta. Kasvien koon ja mansikkanälvikkäiden mahdollisen pölytyksen lisäksi marjojen lisääntyntä lukumäärää voidaan selittää myös kompensoinnilla. Aiemmissakin tutkimuksissa on havaittu kukkiin kohdistuvan kasvinsyönnin määrän lisäävän kasvin kukkien tuottamista (Wise ym. 2008).

Käsittelyt eivät eronneet lehtivaurion määrään suhteen toisistaan. Ainoastaan kontrollikäsittelyssä oli huomattavasti vähemmän vauriota, mikä kertoo ainoastaan sen, että koehäkit toimivat, eikä ylimääräisiä kasvinsyöjiä päässyt juurikaan häkkeihin. Näin ollen voidaan myös olettaa, että hyönteiskäsittelyissä häkeistä ei päässyt karkuun kokeessa olleita hyönteisiä. Syitä sille, ettei hyönteiskäsittelyiden välillä ollut eroja on useita. Ensimmäiseksi voidaan ajatella, että vattukärsäkkään läsnäolo ei vaikuttanut mansikkanälvikkäeseen ja kilpailua lajien välillä ei ole. Koska mansikkanälvikäs ja vattukärsäkäs käyttävät pääasiassa ravintonaan eri kasvinosia ei varsinaista kilpailua resursseista lajien välille syntynyt. Tämän vuoksi mansikkanälvikkään aiheuttama vaurion määrä käsittelyiden välillä ei muuttunut, vaikka toisessa käsittelyssä läsnä oli myös toinen kasvinsyöjä. Toiseksi syy voi olla jo aiemmin mainittu kuumuus, joka saattoi vähentää kasvinsyöjien määrää koehäkeissä, jolloin myöskin mahdollinen kilpailutilanne jäisi tapahtumatta.

### 4.3 Virhelähteet

Tämän opinnäytetyön koeasetelma ei ole optimaalinen testaamaan kasvin vastustuskyvyn vaikutusta vattukärsäkästä vastaan. Jotta näin olisi, olisi vattukärsäkkään pitänyt olla omana käsittelynään, kuten mansikkänälvikäs oli. Näin ei kuitenkaan ollut johtuen siitä, että alun perin tutkimuskysymykset ja tutkimuksen tarkoitus olivat hieman erilaiset. Tarkoituksena oli aluksi tutkia kasvinsyöjäyhteisöjen vaikutusta, mutta lukuisten logististen hankaluuksien vuoksi koeasetelmaani saatiin vain kaksi kasvinsyöjähyönteistä. Muiden kasvinsyöjien saantia hankaloittivat muun muassa koronarajoitukset, jotka estivät minua hakemasta kasvinsyöjiä Ruotsista yhteistyötahoiltamme. Luhtatalvikääriäisen (*Acleris comariana*) toukkien postittamista kokeiltiin myös, mutta ne eivät selvinneet kokeen kannalta tarpeeksi pitkää aikaa hengissä. Koska koe oli aloitettu ja kaikkiin häkkeihin oli laitettu hyönteisiä kontrollia lukuun ottamatta, oli mahdotonta enää siinä vaiheessa saada vattukärsäkkäille omaa käsittelyä.

Kokeeseen mukaan saadut kasvinsyöjät eivät myöskään tehneet odotettua määrää vauriota kasveille, mikä heijastuu myös kokeen tuloksiin. Abioottiset tekijät, kuten kesällä 2020 vallinnut kova kuumuus, oli asia, jolle ei voinut mitään, mutta joka todennäköisesti lisäsi kokeessa olevien hyönteisten kuolleisuutta ja vähensi niiden aktiivisuutta. Kuumuuden on myös aiemmin huomattu vaikuttavan hyönteisten toimintaan ja aktiivisuuteen. Esimerkiksi Jeffries ja kumppanit (2006) tutkivat kokeessaan rinnevalkotammin (*Quercus alba*) ja sen kasvinsyöjähyönteispopulaation vasteita muun muassa abioottisiin tekijöihin. Kokeessaan he havaitsivat negatiivisen korrelaation kuumuuden lisääntymisen ja kasvinsyöjähyönteisten esiintymisen välillä. Kasvinsyöjähyönteisten määrä oli siis vähentynyt kuumuuden seurauksena.

### 4.4 Tulevaisuuden näkymät

#### 4.4.1 Kasvin vastustuskyvyn tutkiminen

Tässä tutkimuksessa käytetyt metsämansikkagenotyypit oli valittu samasta genotyypipoolista kuin mitä Weber ja kumppanit (2020) käyttivät tutkimuksessaan. Heidän tutkimuksessaan asetelma oli eriävä tähän kokeeseen verrattuna, sillä kasvin puolustusta oli tutkittu hyönteisen performanssin kannalta. Hyönteisen performanssin lisäksi kasvin puolustuskykyä voidaan testata kasvin näkökulmasta, kuten tässä tutkimuksessa on tehty. Molempia tapoja käytetään laajasti kasvinpuolustuksen tutkimuksessa, mutta herääkin kysymys, kumpi tapa on parempi vai onko tutkimusmetodi

enemmän kiinni kontekstista. Muun muassa Muola ja Stenberg (2017) keskustelivat artikkelissaan näistä eri tavoista mitata kasvin vastustuskykyä ja totesivat, että mittaustapa tulee valita muun muassa kasvinsyöjän elinkierron ja viljeltävän lajikkeen mukaan. Hyönteisen näkökulmasta tehty tutkimus antaa meille tärkeää tietoa hyönteisen käytöksestä, sekä viitteitä kasvin puolustuskyvystä. Todennäköistä kuitenkin on, että kasvi, jolla hyönteinen kasvaa paremmin, on sen valinta myös ravintokasviksi. Myös naarashyönteisten on muun muassa todettu munivan kasveille, joilla niiden jälkeläiset selviävät paremmin (Wennström ym. 2010). Kun kasvin puolustusta tutkitaan kasvin näkökulmasta seuraamalla vaurion määrän vaikutuksia esimerkiksi kasvin kasvuun ja sen kykyyn lisääntyä, saadaan taas arvokasta tietoa esimerkiksi kasvin sietokyvystä vaurion määrää kohtaan, sekä mahdollisista resurssiristiriidoista. Tämän lisäksi saadaan myös tietoja, joita voidaan hyödyntää muun muassa maataloudessa. Jos esimerkiksi kasvin puolustuskyvyn ja lisääntymisen välillä ei todeta olevan resurssiristiriitaa, on tämä hyödyllinen tieto muun muassa kasvinjalostuksen näkökulmasta.

Tässä tutkimuksessa käytettyjen kasvien puolustuskyky oli määritetty pääasiassa lehtiä syövän hyönteisen mukaan. Tämän kokeen tuloksien perusteella kyseinen vastustuskykymääritys ei vaikuttanut kukkien syönnin asteeseen. Tulevaisuudessa voisikin olla mielekästä tutkia metsämansikan vastustuskykyä myös kukkia syövän hyönteisen avulla. Kukkia syövät hyönteiset, kuten tässä tutkimuksessa vattukärsäkäs, aiheuttavat haittaa eritoten kasvien lisääntymiseen. Koska kasvien lisääntymistuotteet, kuten mansikalla marjat, ovat maanviljelyksessä tavoiteltuja lopputuotteita, olisikin puolustuskykyä järkevää tutkia tulevaisuudessa myös tästä näkökulmasta. Tällaista tutkimusta on tehty jo esimerkiksi laajasti viljeltävällä mustasinapilla (*Brassica nigra*) ja sen kukkiin keskittyneillä kasvinsyöjähyönteisillä (Rusman ym., 2018)

#### 4.4.2 Vastustuskyvyn hyödyntäminen maataloudessa

Metsämansikan vastustuskyvyn tutkiminen yleisimpiä mansikan tuholaisia vastaan on tulevaisuudessakin hyödyllistä. Vaikka tässä kokeessa saadut tulokset eivät olleetkaan mansikan viljelyn kannalta kovin hyödyllisiä ainakaan vastustuskyvyn toimivuuden näkökulmasta, on samoilla metsämansikkagenotyypeillä tehty myös muunlaista tutkimusta. Esimerkiksi Koski ja kumppanit (2021) tutkivat kokeessaan kuinka joko vastustuskykyisten tai alttiiden metsämansikoiden istuttaminen monokulttuuriin tai sekalaisesti vaikutti kasvien vaurion määrään ja kasvien satoisuuteen. Tuloksena oli, että pelkästään vastustuskykyisten kasvien istutuksissa vaurio oli vähäisintä, mutta sekalaisissa istutuksissa vastustuskykyiset kasvit myös suojelivat alttiita kasveja



vauriolta. Vastustuskyvyllä ei sen sijaan ollut merkitystä satoisuuteen, eli resurssiristiriitaa ei havaittu. Kyseinen tulos on siis sama kuin tässäkin tutkimuksessa. Tällaisten tulosten pohjalta voitaisiin ajatella, että viljelemällä tulevaisuudessa esimerkiksi vastustuskykyisiä metsämansikoita puutarhamansikoiden joukossa, voisi vähentää vaurion määrää myös viljelykasveilla.

Metsämansikan puolustuksen hyödyntäminen niin jalostuksessa kuin suoraan mansikanviljelyssä on yksi mahdollisuuksista luoda tulevaisuudessa kestävämpää viljelyä. Kasvien omien puolustusominaisuuksien hyötykäyttäminen viljelyksillä voi vähentää muun muassa torjunta-aineiden käytön määrää. Torjunta-aineiden vähentäminen voi parhaimmillaan muun muassa elvyttää taantuvia pölyttäjähönteisten kantoja (Kuldna ym., 2009). Torjunta-aineiden vähentämisellä voi olla myös positiivisia vaikutuksia ihmisten terveyteen (Kim ym., 2017). Vaikka puutarhamansikalla ei vielä aktiivisesti viljelyssä hyödynnetäkään kasvin tai sukulaiskasvin puolustusominaisuuksia kasvinsyöjiä vastaan, on esimerkkejä kuitenkin muista viljeltävistä lajikkeista (Ekuere ym. 2005). Näin ollen tutkimuksen tekoa tämän aiheen kanssa metsämansikalla on kannattavaa ja mielekästä tehdä myös jatkossa, kun onnistuneita esimerkkejä löytyy jo ympäriltä.

## 5. Kiitokset

Kiitos Suomen Biologian Seura Vanamo ry:lle gradulleni myöntämästä 1500 € arvoisesta stipendistä. Henkilöistä haluan ensimmäiseksi kiittää ohjaajaani Anne ”Nanne” Muolaa hyvästä ja kärsivällisestä ohjauksesta, uusista ideoista, sekä tieteellisen ajatteluni kehittämisestä. Ilman hänen kanssaan vietettyjä naurun täyteisiä hetkiä graduni tekeminen olisi ollut huomattavasti hankalampaa ja tylsempää. Eipä siitä olisi tullut näin pätevääkään ilman häntä, liekö olisi koskaan valmistunutkaan. Kiitokset myös hänen lapsilleen Naajalle ja Aavalle apukäsinä olemisesta häkkien rakennusvaiheessa, sekä pienistä hupihetkistä kenttätöiden ohessa. Heidän lisäksi haluan kiittää muuta Ruissalon tiimiä, etenkin Lauri Heikkosta ja Kaisa Honkasta suuresta avusta kasvien mittausvaiheessa ja kokeen muussa ylläpidossa. Lopuksi haluan halauksin kiittää tärkeintä tukipilariani ja epävirallista kakkosohjaajaani Miika Laihosta kaikesta tuesta ja ymmärryksestä tämän projektin aikana.

## 6. Lähteet

Amil-Ruiz F, Blanco-Portales R, Muñoz-Blanco & Caballero JL (2011). The strawberry plant defense mechanism: a molecular review. *Plant Cell Physiol* 52:1873–1903

Aasen SS & Trandem N (2006). Strawberry blossom weevil *Anthonomus rubi* Herbst (Col.: Curculionidae): relationships between bud damage, weevil density, insecticide use, and yield. *Journal of Pest Science* 79:169–174

Bode RF & Kessler A (2012). Herbivore pressure on goldenrod (*Solidago altissima* L., Asteraceae): its effects on herbivore resistance and vegetative reproduction. *Journal of Ecology* 100:795-801.

Boughton AJ, Hoover K & Felton GW (2005). Methyl jasmonate application induces increased densities of glandular trichomes on tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Chemical Ecology* 31:2211–16.

Caldwell E, Read J & Sanson GD (2016). Which leaf mechanical traits correlate with insect herbivory among feeding guilds? *Annals of Botany* 117:349–361, <https://doi.org/10.1093/aob/mcv178me>

Cornelissen T, Wilson Fernandes G & Vasconcelos-Neto J (2008). Size does matter: variation in herbivory between and within plants and the plant vigor hypothesis. *Oikos*, 117:1121-1130. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2008.16588.x>

Crawley MJ (1989). Insect herbivores and plant population dynamics. *Annual Review of Entomology*. 34:531–64.

Darrow GM (1966). The Strawberry Species. Teoksessa: *The strawberry. History, breeding and physiology*. (Holt, Rinehart & Winston toim.) s. 108-129, The New England Institute for Medical Research, New York, Chicago, San Fransisco.

Farmit.net <<https://www.farmit.net/vattukaersaekaes%C2%A0>> [Luettu 22.1.2021].

Franks SJ, Pratt PD, Dray FA & Simms EL (2008). Selection on Herbivory Resistance and Growth Rate in an Invasive Plant. *The American Naturalist* 171:5.

Glazebrook J (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 43:205–27.

Global Trade Daily, EU Strawberry Market Reached \$3.8B and Is Set To Continue Moderate Growth. <<https://www.globaltrademag.com/eu-strawberry-market-reached-3-8b-and-is-set-to-continue-moderate-growth/>> [Luettu 26.3.2020].

Ekure UU, Dossall LM, Hills M, Keddie AB, Kott L & Good A (2005). Identification, mapping, and economic evaluation of QTLs encoding root maggot resistance in Brassica. *Crop Science* 45:371–378

Ellis C, Karafyllidis I & Turner JG (2002). Constitutive activation of jasmonate signaling in an Arabidopsis mutant correlates with enhanced resistance to *Erysiphe cichoracearum*, *Pseudomonas syringae*, and *Myzus persicae*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 15:1025–30.

Harper JL (1977). Population Biology of Plants. Academic Press, London, UK.

Hedelmän- ja marjanviljelijäin liitto, Mansikat <<https://www.hmlry.fi/laji-info/mansikka/>> [Luettu 22.1.2020]

- Heide OM & Sønsteby A (2007). Interactions of temperature and photoperiod in the control of flowering of latitudinal and altitudinal populations of wild strawberry (*Fragaria vesca*). *Physiologia Plantarum* 130:280–289.
- Hyten DL, Song Q, Zhu Y & Ik-Young C (2006). Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*; Washington 103:45: 16666.
- Höhn H, Neuweiler R (1993). Erdbeerblütenstecher: Befall und Auswirkungen auf den Ertrag. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 10: 270 – 275.
- Jeffries, J.M., Marquis, R.J. & Forkner, R.E. 2006, Forest Age Influences Oak Insect Herbivore Community Structure, Richness, And Density. *Ecological Applications* 16:901–912. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[0901:FAIOIH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[0901:FAIOIH]2.0.CO;2)
- Kim KH, Kabir E & Jahan SA (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of The Total Environment* 575:525–535
- Kovanci OB, Kovanci B & Gencer NS (2005). Sampling and development of economic injury levels for *Anthonomus rubi* Herbst adults. *Crop Protection* 24:1035–1041.
- Krauß A, Steen C, & Zebitz CPW (2014). Phenology of the strawberry blossom weevil and damage in strawberries. Conference: *16th International Conference on Organic Fruit-Growing*.
- Kuldna P, Peterson K, Poltimäe H & Luig J (2009). An application of DPSIR framework to identify issues of pollinator loss. *Ecological Economics* 69:32-42
- Liston A, Cronn R & Ashman TL (2014). *Fragaria*: a genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American Journal of Botany* 101:1686–1699
- Longhi S, Giongo L, Buti M, Surbanovski N, Viola R, Velasco R, Ward JA & Sargent DJ (2014). Molecular genetics and genomics of the Rosoideae: state of the art and future perspectives. *Horticulture Research* 1:1
- McCauley LA, Anger WK, Keifer M, Langley R, Robson MG & Rohlman D (2006). Studying health outcomes in farmworker populations exposed to pesticides. *Environmental Health Perspectives* 114: 953–960.
- MTT (2011). Vattukärsäkäs. <[https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/tuh\\_mtt.tuh\\_mtt\\_perus\\_pack.tul\\_tuhoojatiedot\\_kasper?p\\_tuhooja\\_seqno=55](https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/tuh_mtt.tuh_mtt_perus_pack.tul_tuhoojatiedot_kasper?p_tuhooja_seqno=55)> [Luettu 17.1.2022]
- Muola A, & Stenberg JA (2018). Folivory has long-term effects on sexual but not on asexual reproduction in woodland strawberry. *Ecology and Evolution* 8:12250-12259
- Muola A, Weber D, Malm LE, Egan PA, Glinwood R, Parachnowitsch AL & Stenberg JA (2017). Direct and Pollinator-Mediated Effects of Herbivory on Strawberry and the Potential for Improved Resistance. *Frontiers in Plant Science* 8:823
- Oerke EC (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* 144:31–43.
- Olofsson E & Petersson ML (1992). Leaf beetles in the genus *Galerucella* (Col., Chrysomelidae) on strawberry. *Agris* 56:42–45
- Parikka P & Tuovinen T (2014). Plant protection challenges in strawberry production in northern Europe. *Acta horticulturae* 1049:173–179

- Price PW (1991). The Plant Vigor Hypothesis and Herbivore Attack. *Oikos*, 62:244–251. <https://doi.org/10.2307/3545270>
- Rusman Q, Lucas-Barbosa D, Poelman EH (2018). Dealing with mutualists and antagonists: Specificity of plant-mediated interactions between herbivores and flower visitors, and consequences for plant fitness. *Functional Ecology* 32:1022–1035. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13035>
- Schilmiller AL & Howe GA (2005). Systemic signaling in the wound response. *Current Opinion in Plant Biology* 8:369–77.
- Schoonhoven LM, van Loon JJA & Dicke M (2005a). Herbivorous insects: something for everyone. Teoksessa: *Insect-Plant Biology*, s. 5–24. Oxford University Press.
- Schoonhoven LM, van Loon JJA & Dicke M (2005b). Plant chemistry: endless variety Teoksessa: *Insect-Plant Biology*, s. 48–86. Oxford University Press.
- Simms E & Rausher M (1987). Costs and Benefits of Plant Resistance to Herbivory. *The American Naturalist* 130:4.
- Stam JM, Dicke M & Poelman EH (2018). Order of herbivore arrival on wild cabbage populations influences subsequent arthropod community development. *Oikos* 127:1482–1493.
- Stam JM, Kroes A, Li Y, Gols R, van Loon JJ, Poelman EH & Dicke M (2014). Plant interactions with multiple insect herbivores: from community to genes. *Annual Review of Plant Biology* 65:689-713.
- Stanley DA, Garratt MPD, Wickens JB, Wickens VJ, Potts SG & Raine NE (2015). Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. *Nature* 528:548–550.
- Stenberg JA (2014). Density-dependent herbivory and biocontrol of the strawberry leaf beetle, *Galerucella tenella*. *Acta Horticulturae* 1049:647–650
- Svensson B (2002). Organic growing strawberries, with control of insect and mulch/fertilisation. *Acta Horticulturae* 567:419-426
- Usha RP & Jyothsna Y (2010). Biochemical and enzymatic changes in rice as a mechanism of defense. *Acta Physiologiae Plantarum* 32:695–701.
- War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S & Sharma HC (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior* 1:1306–1320.
- Weber D, Egan PA, Muola A & Stenberg JA (2020). Genetic variation in herbivore resistance within a strawberry crop wild relative (*Fragaria vesca* L.). *Arthropod-Plant Interactions* 14:31–40
- Wennström, A, Niemi Hjulström L, Hjältén J, Julkunen-Tiitto R (2010). Mother really knows best: host choice of adult phytophagous insect females reflects a within-host variation in suitability as larval food. *Chemoecology* 20:35–42
- Wise MJ, Cummins JJ & De Young C (2008). Compensation for floral herbivory in *Solanum carolinense*: identifying mechanisms of tolerance. *Evolutionary Ecology* 22:19–37. <https://doi.org/10.1007/s10682-007-9156-x>

Wright SI, Irie VB, Schroeder SG & Yamasaki M (2005). The effects of artificial selection on the maize genome. *Science* 308:1310–4. DOI: 10.1126/science.1107891

Zhang H, Mittal N, Leamy LJ, Oz B & Bao-Hua S (2017). Back into the wild—Apply untapped genetic diversity of wild relatives for crop improvement. *Evolutionary Applications* 10:5–24. <https://doi.org/10.1111/eva.12434>