

Typpilannoituksen vaikutus ansarijauhiaisen (*Trialeurodes vaporariorum*) kuolleisuuteen ja kehitysaikaan tomaatilla (*Solanum lycopersicum*)

Liisa Vigelius
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvintuotantotieteet
2022

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Liisa Vigelius			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Typpilannoituksen vaikutus ansarijauhiaisen (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) kuolleisuuteen ja kehitysaikaan tomaatilla (<i>Solanum lycopersicum</i>)			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvintuotantotiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Toukokuu 2022	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 40 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voisiko tomaatin (<i>Solanum lycopersicum</i>) typpilannoitusta vähentämällä hidastaa ansarijauhiaisen (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) populaation kasvunopeutta ja siten parantaa biologisen torjunnan tehokkuutta. Ansarijauhiainen on merkittävä kasvihuonetuholainen, jota torjutaan yleisesti jauhiaiskiilukaisella (<i>Encarsia formosa</i>), mutta torjunnan tehokkuus ei aina ole riittävä, jos ansarijauhiaisen populaation kasvunopeus on suurempi kuin jauhiaiskiilukaisella. Aiemmissä tutkimuksissa ansarijauhiaisen on havaittu hyötyvän tomaatin typpilannoituksesta.</p> <p>Tutkimuksessa jauhiaisia munitettiin vuorokauden ajan klipsihäkeissä tomaateilla, joille annettiin typpipitoisuudeltaan neljää erilaista lannoiteliuosta. Lannoiteliuosten typpipitoisuus muuttui tomaatin kehitysvaiheen perusteella kaupallisten viljelmien käytäntöjen mukaisesti. Jauhiaisten kuolleisuus ja kehitysaika munasta aikuiseksi määritettiin. Kehitysaika laskettiin kummallekin sukupuolelle erikseen. Kuoriutuneista naaraista osa munitettiin kahden viikon ajan gelatiinikapseleista valmistetuissa häkeissä muninnan määrän selvittämiseksi. Typpilannoituksen vaikutusta tomaatin typpipitoisuuden arvioitiin jauhiaislehtien klorofylli-indeksien perusteella.</p> <p>Tulosten perusteella typpilannoituksella ei ollut merkitsevää vaikutusta jauhiaisten kuolleisuuteen ja kehitysaikaan eikä jauhiaislehtien klorofyllipitoisuuksiin. Yllättävänä havaintona naaraat kuoriutuivat koiraita aikaisemmin kaikilla typpitasoilla: hyönteisillä on yleisempää, että pienikokoisemmat koiraat kuoriutuvat ensin. Kokeen toinen vaihe epäonnistui, eikä muninnan määrää per naaras saatu analysoida.</p> <p>Näyttäisi siltä, että typpilannoituksen tulisi olla huomattavasti nykykäytäntöä vähäisempi, jotta sillä voisi hillitä jauhiaispopulaation kasvunopeutta. Tämä tulisi kuitenkin varmistaa lisäkokein, ja samalla selvittää vähennetyn typpilannoituksen vaikutukset jauhiaiskiilukaisen torjuntatehoon sekä mahdolliset satovaikutukset. Myös sukupuolten välistä kehitysaikojen eroa olisi tutkittava lisää, jotta saataisiin selville taustalla vaikuttavat syyt tai mekanismit.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords typpi, lannoitus, lannoiteliuos, typpipitoisuus, biologinen torjunta, populaationkasvu, kehitysaika, sukupuolierot			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat Irene Vänninen (Luke/SLC) ja Juha Helenius (HY)			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Liisa Vigelius			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Effect of nitrogen fertilization to mortality and development time of greenhouse whitefly (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) on tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>)			
Oppiaine — Läroämne — Subject Plant Production Sciences			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year May 2022	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 40 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The aim of the study was to determine whether reducing the nitrogen fertilization of tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) could slow down the growth rate of the greenhouse whitefly (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) population and thus improve the effectiveness of biological control. Greenhouse whitefly is a major greenhouse pest. It is biologically controlled with parasitoid wasp <i>Encarsia formosa</i>, but the effectiveness of the control is not always sufficient if the population growth rate of the whitefly is higher than that of the parasitoid. In previous studies, greenhouse whitefly has been found to benefit from nitrogen fertilization of tomatoes.</p> <p>In the study, whiteflies were put in clip-cages for 24 hours to lay eggs on tomatoes, which were given fertilizer solutions with four different nitrogen contents, to determine the mortality and development time of whiteflies. The nitrogen content of the fertilizer solutions changed according to the plants' developmental stages in the same way as they change in commercial crops. Development time was calculated for each sex separately. Some of the hatched females were put in cages made of gelatin capsules to lay eggs on tomatoes for two weeks to determine the amount of eggs per female. The effect of nitrogen fertilization on the nitrogen content of tomatoes was evaluated based on the chlorophyll indices of the leaves whiteflies developed on.</p> <p>Based on the results, nitrogen fertilization had no significant effect on the mortality and development time of the greenhouse whitefly nor the chlorophyll contents of the leaves. Surprisingly, females hatched earlier than males at all nitrogen levels: it is more common for insects that the smaller males hatch first. The second phase of the experiment failed and the number of eggs per female could not be analyzed.</p> <p>It seems that the growth rate of the whitefly population might only be slowed down with considerably lower nitrogen levels than current fertilization practices. However, this should be confirmed by additional experiments which also consider the effects of reduced nitrogen fertilization on the control efficiency of <i>E. formosa</i> as well as the possible yield effects. The difference in the development time of females and males should also be further investigated to determine the underlying causes or mechanisms.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Fertigation, nitrogen content, biological control, population growth, gender difference			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Irene Vänninen (Luke/SLC), Juha Helenius (HY)			

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 ANSARIJAUHIAINEN KASVIHUONETUHO LAISENA	7
2.1 Ansarijauhiaisen biologiaa	7
2.2 Merkitys tuhohyönteisenä	8
2.3 Biologinen torjunta	8
3 TYPPILANNOITUKSEN VÄHENTÄMINEN	9
3.1 Kasvin typpipitoisuuden merkitys herbivoreille	9
3.2 Typpilannoituksen vaikutukset ansarijauhiaiseen	10
3.3 Typpilannoituksen vähentäminen tomaatilla	11
4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	12
5 AINEISTO JA MENETELMÄT	13
5.1 Koejärjestelyt	13
5.2 Jauhiaisten kasvatus	13
5.3 Kokeen perustaminen ja hoitotoimenpiteet	14
5.4 Lannoitus	14
5.4.1 Kastelujärjestelmä	14
5.4.2 Lannoiteliuokset	15
5.5 Jauhiaiset.....	16
5.5.1 Ensimmäinen vaihe: kuolleisuus ja kehitysaika	16
5.5.2 Kuoriutumisen seuranta	18
5.5.3 Toinen vaihe: muninnan määrä	19
5.6 Näytteiden otto	20
5.6.1 Kasvualustan johtokyky	20
5.6.2 SPAD	21
5.6.3 Lehden typpipitoisuus	21
5.7 Kokeen lopetus.....	22
5.8 Tilastollinen analyysi	22
5.8.1 Kuolleisuus	22
5.8.2 Kehitysaika	22
5.8.3 Kasvualustan johtokyky	23
5.8.4 SPAD	23
5.8.5 Lehden typpipitoisuus	24
6 TULOKSET	24
6.1 Kuolleisuus	24
6.2 Kehitysaika	24
6.3 Kasvualustan johtokyky	25
6.4 Jauhiaislehtien SPAD.....	26
6.5 Lehtinäytteiden typpipitoisuus kokeen lopussa.....	26
7 TULOSTEN TARKASTELU	27
7.1 Kuolleisuus	27
7.2 Kehitysaika	27
7.3 Typpilannoituksen vaikutus tomaatin typpipitoisuuteen.....	29
7.4 Typpilannoituksen vaikutus jauhiaisiin.....	30
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	32

9 KIITOKSET	33
10 RAHOITUS	33
LÄHTEET	33
LIITE 1: LANNOITUS	38
LIITE 2: KLIPSIHÄKKIEN VALMISTUS	40

1 JOHDANTO

Ansarijauhiainen (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) on tomaatin hankala kasvihuonetuholainen, jota torjutaan biologisesti jauhiaiskiilukaisella (*Encarsia formosa* Gahan) ja kaliforniankiilukaisella (*Eretmocerus eremicus* Rose ja Zolnerowich). Suomessa ympärivuotisessa viljelyssä loispistiäisten torjuntateho ei kuitenkaan aina talviaikaan riitä jauhiaisten hallintaan, ja sitä joudutaan täydentämään *Macrolophus*-petoluteilla ja kelta-ansoilla (Vänninen 2021). Tomaatilla torjuntakustannukset ovat tekovalotetuilla viljelmillä moninkertaiset verrattuna luonnonvaloviljelmiin ja yltyvät pahimmillaan 30 000–40 000 euron hehtaarikustannuksiin vuodessa (Vänninen 2021). Noin kolmasosa tomaatin viljelyalasta Suomessa on ympärivuotisen viljelyn mahdollistavia, tekovalotettuja viljelmiä (Kauppapuutarhaliitto 2022).

Österbottens Svenska Producentförbund r.f. (ÖSP) ja Luonnonvarakeskus (Luke) aloittivat vuonna 2020 hankkeen ansarijauhiaisen hallinnan tehostamiseksi ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävästi. Jaustra-hankkeen (Jauhiaistorjunnan uudet strategiat kasvihuonetuotannossa, 2020–2023) tavoitteena on arvioida ja kehittää strategioita ansarijauhiaisten torjumiseksi (Växtkraft 2022). Hankkeessa selvitetään, miten jauhiaisia tarkkaillaan ja torjutaan eri tiloilla, ja miksi toisilla tiloilla torjunta onnistuu paremmin kuin toisilla. Tavoitteena on myös määrittää kynnyksarvot erilaisille jauhiaisten torjuntakeinoille sekä selvittää, auttaisiko typpilannoituksen vähentäminen jauhiaisten torjunnassa. Näiden tietojen pohjalta tavoitteena on kehittää jauhiaisten torjuntastrategioita ja laatia suunnitelma etelänjauhiaisen (*Bemisia tabaci* Gennadius) tulevaisuuden torjunnan varalle (Växtkraft 2022). Etelänjauhiainen on kansallisen vieraslajistrategian laji ja karanteenituhooja, jota ei saa olla EU:n ulkopuolelta tuotavissa kasveissa eikä taimiaineistossa tai EU:n suoja-alueille vietävissä kasveissa. Suomi ei ole ollut etelänjauhiaisen suoja-aluetta enää vuoden 2018 jälkeen (Ruokavirasto 2020).

Typpilannoituksen vähentämistä ansarijauhiaisten torjunnan tehostamiseksi tutkittiin Luken Jokioisten toimipaikassa elo-lokakuussa 2020. Vähennettyä typpeä korvattiin lannoiteliuksissa sulfaatilla ja kloridilla. Kokeessa selvitettiin myös kevennetyn typpilannoituksen vaikutusta tomaatin kasvuun ja alustavia satovaikutuksia sekä jauhiaistiheyden vaikutusta tomaatin kasvuun eri typpilannoitustasoilla. Maisterintutkielmassa keskitytään typpilannoituksen vähentämiseen jauhiaisten kannalta.

2 ANSARIJAUHIAINEN KASVIHUONETUHOLOISENA

2.1 Ansarijauhiaisen biologiaa

Jauhiaiset ovat pieniä, noin 1–3 mm kokoisia kasvinesteitä imeviä hyönteisiä, jotka muistuttavat aikuisina pieniä koi- tai yöperhosia (Martin ym. 2000). Kaikki jauhiaiset kuuluvat Aleyrodoidea-yläheimoon (Hemiptera, Sternorrhyncha), ja niitä on nimetty noin 1450 lajia (Martin ym. 2000). Jauhiais-nimitys on peräisin niiden siipiä ja vartaloa peittävästä jauhemaisesta vahasta (Martin ym. 2000). Jauhiaiset lisääntyvät yleensä suvullisesti, mutta voivat lisääntyä myös partenogeneettisesti (Martin ym. 2000). Hedelmöittyneet naaraat voivat munia sekä haploideja (koiras) että diploideja (naaras) munia, mutta hedelmöittymättömät naaraat munivat vain haploideja munia (van Lenteren ja Noldus 1990).

Jauhiaisnaaras munii yleensä lehden alapuolelle, ja monet lajit munivat osittain tai täydellisiin ympyröihin, sillä naaras liikuttaa takaruumistaan muniessaan ja jatkaa syömistä (van Roermund ja van Lenteren 1992, Martin ym. 2000). Monille hyönteislajeille munintapaikan valinta on kriittisin vaihe niiden elämässä, ja tämä pätee varsinkin jauhiaisiin (van Lenteren ja Noldus 1990). Munintapaikan valinta voi vaikuttaa perusteellisesti niiden menestymiseen, sillä yleensä jauhiaiset syövät ja munivat samoilla lehdillä (van Lenteren ja Noldus 1990). Ensimmäinen toukka-aste voi liikkua lyhyitä matkoja, mutta sen levittäytymiskyky on varsin suppea, ja se asettuu yleensä muutaman tunnin kuluttua paikoilleen (van Lenteren ja Noldus 1990, van Roermund ja van Lenteren 1992, Martin ym. 2000). Loput kolme toukka-astetta ovat liikkumattomia (van Lenteren ja Noldus 1990, Martin ym. 2000).

Kirjallisuudessa on usein esitetty ansarijauhiaiselle kuusi kehitysvaihetta: muna, neljä toukkavaihetta ja aikuinen (Hosseini ym. 2015). Neljäs toukka-aste voidaan kuitenkin jakaa vielä kolmeen vaiheeseen: toukka, esikotelovaihe ja kotelo (van Roermund ja van Lenteren 1992). Kotelovaiheen loppua kohden kotelo kasvaa korkeutta ja aikuisen jauhiaisen punaiset silmät alkavat erottua kotelon läpi (Lloyd 1922, van Roermund ja van Lenteren 1992).

2.2 Merkitys tuhohyönteisenä

Ansarijauhiainen on monien eri kasvilajien merkittävimpiä tuholaisia maailmanlaajuisesti (Jauset ym. 1998, Martin ym. 2000, Hosseini ym. 2015). Ansarijauhiainen kelpuuttaa isäntäkasvikseen jopa yli 200 eri kasvilajia, ja on toinen yleisimmistä ja taloudellisesti merkittävimmistä jauhiaislajeista etelänjauhiaisen lisäksi (Martin ym. 2000). Ansarijauhiainen on usein huomattava ongelma kasvihuoneissa, varsinkin lauhkealla vyöhykkeellä (Martin ym. 2000). Sen kaikki toukkavaiheet ja aikuinen jauhiainen imevät kasvinesteitä ja tuottavat mesikastetta, joka tarjoaa kasvualustan homeille ja häiritsee isäntäkasvin fotosynteesiä ja perusfysiologiaa (Jauset ym. 1998, Martin ym. 2000, Hosseini ym. 2015). Lisäksi ansarijauhiaiset toimivat virusvektoreina kolmelle eri taloudellisesti merkittävälle kasviviruselle (Hosseini ym. 2015).

2.3 Biologinen torjunta

Ansarijauhiaista torjutaan biologisesti erityisesti jauhiaiskiilukaisella, ja torjuntateho on useimmiten riittävä. Useilla tärkeillä kasveilla yksi ainoa jauhiaiskiilukainen tai sen jälkeläiset voivat tappaa enemmän jauhiaisia kuin yksittäinen jauhiaisnaaras voi tuottaa, mutta joillakin kasvilajeilla jauhiainen kehittyy niin nopeasti, että kausittaiset inokulatiiviset jauhiaiskiilukaisen vapautukset eivät riitä (van Lenteren ym. 1996). Jauhiaiskiilukaisen tehokkuus vaihtelee muun muassa isäntäkasvin ominaisuuksista ja lämpötilasta riippuen, ja niitä voidaan joutua vapauttamaan toistuvasti uudelleen riittävän torjuntavaikutuksen saamiseksi (van Lenteren ym. 1996). Myös jauhiaisten populaationkehitykseen vaikuttaa monta tekijää, kuten isäntäkasvin laatu (van Lenteren ja Noldus 1990). Jauhiaiset munivat joillekin kasvilajeille ja -lajikkeille mieluummin kuin toisille, ja erot isäntäkasvin houkuttelevuudessa heijastelevat myös sen vaikutusta jauhiaisen populaation kasvunopeuteen (van Lenteren ja Noldus 1990). Jos isäntäkasvi on laadultaan erinomainen ansarijauhiaisen kannalta, niiden populaation kasvunopeus voi kiihtyä niin paljon, ettei jauhiaiskiilukainen enää pysy vauhdissa mukana (van Lenteren ym. 1996).

Biologinen torjunta on tärkeä osa integroitua torjuntaa, johon kuuluvat myös viljelymenetelmät. Viljelymenetelmillä voi olla hyvinkin merkittävä rooli jauhiaisten torjunnassa niiden ennaltaehkäisevän luonteen vuoksi (Hilje ym. 2001), ja isäntäkasvin

ja ansarijauhiaisen vuorovaikutus voi olla tärkeä elementti integroidun torjunnan parantamiseksi (Prijović ym. 2013). Varsinkin lannoituskäytännöillä voidaan vaikuttaa kasvin alttiuteen tuholaisille (Hilje ym. 2001, Singh ja Sood 2017), ja imevät hyönteistuholaiset ovatkin herkkiä isäntäkasvin ravitsemuksellisille muutoksille (Singh ja Sood 2017). Erityisesti typpilannoituksella on vaikutusta kasvin tuholaisten kestävyteen, ja sopivilla lannoituskäytännöillä voitaisiin mahdollisesti parantaa kestävyttä myös jauhiaisia vastaan (Hilje ym. 2001, Singh ja Sood 2017). Kasvin kestävyden parantaminen vähentäisi yksittäisten tuhohyönteisten torjunnan tarvetta (Singh ja Sood 2017), ja se voisi osaltaan parantaa myös ansarijauhiaisen biologisen torjunnan tehokkuutta.

3 TYPPILANNOITUKSEN VÄHENTÄMINEN

3.1 Kasvin typpipitoisuuden merkitys herbivoreille

Isäntäkasvin typpipitoisuus on yksi tärkeimmistä herbivorien menestymiseen vaikuttavista ominaisuuksista, koska typpellä on niin keskeinen rooli kaikissa aineenvaihdunnan prosesseissa, solurakenteessa sekä geneettisessä koodauksessa (Mattson 1980). Typpi on merkittävin hyönteisten kasvua rajoittava ravinne, ja lehden typpipitoisuutta pidetään usein sopivana indikaattorina arvioimaan kasvin laatua monien hyönteisten kannalta, sillä monet kasvinsyöjähyönteiset suosivat kasveja, joissa on korkea typpipitoisuus (Singh ja Sood 2017). Isäntäkasvin laadulla, kuten typpipitoisuudella, on suora vaikutus kasvinsyöjähyönteisten fekunditeettiin (Awmack ja Leather 2002), ja typpi on usein monien organismien kasvua, lisääntymistä ja eloonjäämistä parantava tekijä (Mattson 1980). Rungas typpilannoitus ja kasvin korkea typpipitoisuus voivatkin tehdä sen alttiimmaksi herbivoreille (Pilbeam 2011, Singh ja Sood 2017). Typpilannoitus voi vaikuttaa herbivorien ravinnon valintaan ja kulutukseen, selviytymiseen, kasvuun, lisääntymiseen ja populaatiotiheyteen muokkaamalla kasvin ravitsemuksellista laatua ja kestävyttä (Singh ja Sood 2017).

Kasvinsyöjähyönteisten kasvuun ja fekunditeettiin vaikuttaa typen määrän lisäksi myös sen laatu tai koostumus: esimerkiksi kasvinesteiden typpi on usein heikkolaatuista ja sisältää huomattavan vähän välttämättömiä aminohappoja suhteessa ei-välttämättömiin aminohappoihin (Douglas 2006). Hyönteisille onkin kehittynyt monenlaisia keinoja

parantaa ravinnosta saadun typen hyödyntämistä, kuten lisääntynyt syöminen tai pidentynyt syömiseen, ruoansulatukseen tai kehittymiseen kuluva aika (Mattson 1980). Hyönteisillä voi myös olla ruoansulatuskanavassa eläviä symbionttisia mikrobeja, jotka voivat muokata ei-välttämättömistä aminohapoista välttämättömiä (Awmack ja Leather 2002). Kasvineste, jota jauhiaisetkin imevät, sisältää paljon fotosynteesin tuloksena syntyneitä sokereita (Douglas 2006), ja ottaessaan kasvinesteestä riittävästi aminohappoja tarpeisiinsa, jauhiaiset erittävät sokeripitoista mesikastetta (Martin ym. 2000). Esimerkiksi Park kumppaneineen (2009) havaitsi ansarijauhiaisen tuottavan enemmän mesikastetta tomaateilla, joille annettiin vähiten typpilannoitusta. He arvelivat, että mesikasteen tuotto saattaisi liittyä kasvinesteiden vähäisempään typpipitoisuuteen, jota jauhiaiset kompensoivat syömällä vastaavasti enemmän.

3.2 Typpilannoituksen vaikutukset ansarijauhiaiseen

Ansarijauhiainen kelpuuttaa isäntäkasvikseen monia eri kasvilajeja, mutta se munii joillekin kasvilajeille ja -lajikkeille mieluummin kuin toisille (van Lenteren ja Noldus 1990) ja suosii erityisesti ylimpiä, nuorimpia lehtiä munintaan ja ruokailuun (Noldus ym. 1986, van Lenteren ja Noldus 1990, Jauset ym. 1998, Park ym. 2009). Houkuttelevuus johtuu osaltaan suuremmasta typpi- ja vesipitoisuudesta, ja kasvin typpipitoisuus on suoraan yhteydessä lannoituksen typpipitoisuuteen (Jauset ym. 1998, Park ym. 2009). Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että tomaatilla suurempi typpilannoitus lisäsi sen typpi-, proteiini- ja klorofyllipitoisuutta lehdissä (Jauset ym. 1998, Park ym. 2009, Ramachandran 2020). Typpipitoisuus oli korkein ylimmissä lehdissä (Jauset ym. 1998, Park ym. 2009), missä on suurin tarve klorofyllille ja fotosynteesin entsyymeille (Pilbeam 2011). Ansarijauhiaisten onkin havaittu suosivan sellaisia kasveja ja lehtiä, joissa typpipitoisuus on korkea (Tripp ym. 1992, Jauset ym. 1998, Park ym. 2009). Lisäksi nuoret, ylimmät lehdet pysyvät pisimpään hyvässä kunnossa tarjoten jälkeläisille ravintoa mahdollisimman pitkään (Noldus ym. 1986).

Tomaatin typpipitoisuuden on havaittu vaikuttavan ansarijauhiaisen munintaan sekä munien ja nymfien kehitysaikaan (Jauset ym. 1998, Park ym. 2009, Koivisto 2010). Naaraat munivat enemmän kasveille ja lehdille, joilla oli suurempi typpipitoisuus (Jauset ym. 1998, Park ym. 2009). Kasvin suurempi typpipitoisuus myös lisäsi naaraiden elinikäänään munimien munien määrää (Koivisto 2010), ja lyhensi munien ja nymfien kehitysaikoja (Park ym. 2009). Typpilannoituksen vähentäminen hidasti naaraiden

munintaa ja lisäsi munien kuolleisuutta (Jauset ym. 2000) sekä pidensi munien ja toukkavaiheiden kehitysaikaa ja naaraiden kokonaiskehitysaikaa ennen ensimmäistä munintaa (Hosseini ym. 2015). Lannoituksen pienempi typpipitoisuus myös lyhensi naaraiden ja koiraiden elinikää (Hosseini ym. 2015).

Runsas typpilannoitus paransi ansarijauhiaisen kehitysnopeutta ja fekunditeettia sekä nopeutti populaation kasvua (Jauset ym. 2000, Park ym. 2009, Hosseini ym. 2015). Suurempi typpilannoitus aiheutti muun muassa sen, että naaraat pystyivät aloittamaan muninnan nuorempina ja saavuttamaan maksimaalisen jälkeläistuottokapasiteetin aikaisemmin (Hosseini ym. 2015). Naaraat myös kasvoivat kooltaan suuremmiksi, millä voi olla yhteyttä parempaan fekunditeettiin (Jauset ym. 2000). Populaationkasvun nopeutuminen vaikeuttaa ansarijauhiaisen hallintaa (Jauset ym. 2000). Lannoituksen typpipitoisuutta vähentämällä voitaisiin pienentää kasvin typpipitoisuutta, mikä voisi hidastaa ansarijauhiaisen populaationkasvua ja parantaa biologisen torjunnan tehokkuutta.

3.3 Typpilannoituksen vähentäminen tomaatilla

Typpi on myös kasveille merkittävä kasvua rajoittava tekijä. Typeä tarvitaan rakennusaineeksi aminohappoihin ja proteiineihin, entsyymeihin, nukleiinihappoihin, klorofylliin ja moniin muihin yhdisteisiin (Pilbeam 2011, Singh ja Sood 2017, Santos ja Torres-Quezada 2018). Se onkin merkittävin tomaatin kasvua rajoittava ravinne (Sainju ym. 2003). Kasvit muokkaavat kasvualustaansa fysikaalisesti ja kemiallisesti, ja ne voivat vaikuttaa typen saatavuuteen kasvualustasta suoraan ja epäsuorasti (Pilbeam 2011). Kasvuympäristön typpipitoisuus vaikuttaa kasvin typpipitoisuuteen ja kasvuun, mutta kasvi kykenee säätelemään ottamansa typen määrää ja ottaakin sitä tarpeensa mukaan (Pilbeam 2011). Kasvit ottavat harvoin yli 70 prosenttia niille annetuista ravinteista, kuten tpestä, ja monet kasvit ottavat keskimäärin noin 50 prosenttia (Sainju ym. 2003). Tomaattikaan ei pysty hyödyntämään kaikkea sille annettua lannoitetyypeä, ja ylimääräinen typpi jää kasvualustaan (Sainju ym. 2003). Joidenkin tutkimusten mukaan tomaatti hyödyntäisi annetusta lannoitetyypistä vain 13–53 prosenttia (Sainju ym. 2003).

Tomaatin typpilannoitusta voisi vähentää jopa puolella (Sainju ym. 2003) tai asteittain kasvukauden aikana kolmasosaan lähtötasosta ilman vaikutuksia sadon määrään (Truffault ym. 2019). Ramachandranin ym. (2020) kokeessa typpilannoituksen

puolittaminen vähensi satoa 15 prosenttia, vaikka vaikutus ei ollutkaan tilastollisesti merkitsevä. He laskivat, että satovähennystä voisi kompensoida osittain tai jopa kokonaan lannoituksesta, torjuntakustannuksista, tomaattien pesemisestä sekä näiden aiheuttamasta työmäärästä säästyneillä kustannuksilla. Typpilannoituksen vähentäminen voisi jopa parantaa tomaatin laatua sokeri:happo -suhteen noustessa (Truffault ym. 2019) ja muuttamalla joitakin tärkeitä prosessointiin liittyviä ominaisuuksia, kuten happamuutta, liukoisia kiintoaineita, glukoosi- ja fruktoosipitoisuutta ja sokereiden ja liukoisten kiintoaineiden suhdetta (Parisi ym. 2006).

Typpilannoituksen vähentäminen voisi siis parhaimmillaan parantaa sadon laatua sekä taloudellista tuottoa pienentyneiden lannoitus- ja torjuntakustannuksien myötä, etenkin jos sillä saataisiin samalla hillittyä hyönteistuholaisten populaation kasvua. Typpilannoituksen määrä olisi kuitenkin optimoitava siten, ettei se aiheuttaisi merkittäviä satotappioita. Tiloilla, joilla kasteluvesiä ei kierrätetä, typpilannoituksen vähentämisellä olisi myös positiivisia vaikutuksia ympäristön kannalta, sillä ylimääräisen typen huuhtoutuminen ympäristöön tai jätevesiin vähentyisi.

4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko tomaatin typpilannoitusta vähentämällä vaikuttaa ansarijauhiaisen kuolleisuuteen, kehitysnopeuteen ja muninnan määrään, ja siten populaation kasvunopeuteen. Mikäli jauhiaispopulaation kasvunopeus hidastuisi, se voisi parantaa biologisten torjuntaeliöiden tehokkuutta. Tutkimuksessa selvitettiin myös kevennetyn typpilannoituksen ja sulfaatti-kloridilisän vaikutusta tomaatin kasvuun, sekä typpipitoisuuden ja jauhiaistiheyden yhteisvaikutusta tomaatin kasvuun. Maisterintutkielma keskittyy vain typpipitoisuuden vaikutuksiin jauhiaisten kuolleisuuteen, kehitysnopeuteen ja muninnan määrään. Tutkimushypoteeseina oli, että typpilannoituksen vähentäminen 1) lisäisi ansarijauhiaisen kuolleisuutta, 2) hidastaisi kehitysnopeutta ja 3) vähentäisi muninnan määrää per naaras. Koe toteutettiin tekovalotetuissa tomaattikasvustoissa, joita viljeltiin kaupallisten viljelmien käytäntöjen mukaisesti. Tällaisten kasvustojen eritasoisten typpilannoituskäsittelyjen vaikutuksista sadontuotantoon tai jauhiaisten menestymiseen ei ole aikaisempaa tietoa saatavissa, sillä Suomessa käytettävät tekovalotuksen tasot poikkeavat eteläisempien maiden valo-oloista.

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Koejärjestelyt

Koe toteutettiin Luken Jokioisten toimipisteessä osana laajempaa Jaustra-hanketta. Koetta varten käytössä oli neljä 38 m² kasvihuonetta, joista yksi varattiin jauhiaisten kasvatukseen ja kolme kokeen suorittamiseen. Koe toteutettiin osaruutukokeena kolmena toistona: yksi kasvihuone vastasi yhtä toistoa. Jokainen huone jaettiin neljään lohkokon, joissa oli kolme osaruutua ja näissä yhteensä kaksitoista koejäsentä per lohko. Osaruudut jaettiin kolmen jauhiaistason mukaan (J1, J2, J3), ja niiden sisällä oli neljä typpitasoa (N1, N2, N3, N4). Rivien päädyissä ja keskellä lohkojen väleissä oli suojakasvit. Maisterintutkielmassa keskitytään vain J2-jauhiaistason osaruutuihin ja niiden sisältämiin typpitasoihin. J1- ja J3-tasot liittyivät Jaustra-hankkeen muihin tutkimusaiheisiin.

Lämpötila ja ilmankosteus olivat kokeen aikana huoneessa 52 keskimäärin 22,5 °C (19,3–25,5 °C) ja 83,1 % (59,8–99,0 %); huoneessa 53 22,5 °C (19,2–25,1) ja 83,6 % (46,6–100 %) sekä huoneessa 54 22,7 °C (19,3–25,3) ja 76,4 % (47,5–99,3 %). Lisävalotus aloitettiin 12.8. neljällä tunnilla, ja sitä pidennettiin 16 tuntiin päivässä seuraavien yhdeksän päivän aikana. Valaisimet olivat teholtaan 400 W, ja niitä oli viisi per paririvi, yhteensä 15 per huone. Kasvihuoneisiin annettiin hiilidioksidilannoitusta 13.8. alkaen. Hiilidioksidipullo sijoitettiin keskimmaiseen huoneeseen (53), josta hiilidioksidi jaettiin kolmella letkulla jokaiseen huoneeseen. Aluksi hiilidioksidia annosteltiin käsin avaamalla hana aamulla ja sulkemalla se illalla, kunnes 17.8. annostelu automatisoitiin. Raja-arvoiksi määriteltiin 400–750 ppm. Hiilidioksidilannoitukseen tuli tauko 18.9. pullon tyhjennyttyä, kunnes 23.9. saatiin uusi pullo.

5.2 Jauhiaisten kasvatus

Jauhiaiset kerättiin kaupalliselta tomaattiviljelmältä 9.6. ja siirrettiin 10.6. neljään pleksihäkkiin (60 x 60 x 60 cm), joissa jokaisessa oli kaksi tai kolme tomaatin taimea (lajike Bamano, kaksilatvaisia). Taimet olivat kivivillassa, ja ne kasteltiin päivittäin käsin kaatamalla taimen tyvelle aluksi vettä, ja 15.6. alkaen Kekkilän Vihannes-Superexistä sekoitettua lannoiteliuosta. Kasvatushuoneen lämpötila oli 22 ± 2 °C. Pleksihäkit kävivät kuitenkin ahtaiksi ja niiden kanssa tuli kosteusongelmia, joten seuraava jauhiaissukupolvi

siirrettiin kolmeen harsohäkkiin (1 x 1 x 1,5 m), joissa jokaisessa oli neljä uutta tomaatin taimea (lajike Rijk Zwaanin Roterno, kaksilatvaisia). Jauhiaiset siirrettiin 9.–15.7. ja huoneen lämpötilaa nostettiin asteella. Kastelu jatkui Vihannes-Superexistä sekoitetulla lannoiteliuksella siihen asti, kunnes koe alkoi. Tämän jälkeen hyödynnettiin kokeesta yli jääneitä lannoiteliuksia. Kokeessa käytetyt jauhiaiset kerättiin harsohäkeistä. Jauhiaisia kasvatettiin harsohäkeissä lähes kokeen loppuun asti.

5.3 Kokeen perustaminen ja hoitotoimenpiteet

Koekasvit istutettiin 30.7. huoneisiin 54 ja 53 ja 31.7. huoneeseen 52. Taimet olivat neljän viikon ikäisiä ja kaksilatvaisia, Livento-lajiketta (taimituottaja Sigg-Plant). Istutuksen yhteydessä latvoista valittiin pidempi tai paremman näköinen, ja toinen latva poistettiin veitsellä, koska kasvitiheydestä olisi muuten tullut liian suuri huoneiden kokoon nähden. Kasvualustana oli Grodan Vital -kivivilla (240 x 195 x 100 mm, Grodan, Roermond, Alankomaat), yksi koejäsen per kivivillakuutio. Kivivillat aseteltiin kolmeen paririviin styrox-levyjen päälle. Kivivillojen väleissä oli pituussuunnassa noin 15 cm ja paririvin keskellä noin 7 cm. Paririvien väleissä ja seinien vieressä tilaa oli noin 60 cm. Ennen istutusta kivivillat oli kasteltu ohjeiden mukaan pH-säädetyllä vedellä, minkä jälkeen ne huuhdeltiin lannoiteliuksilla typpitasojen mukaan. Kivivillat merkattiin värillisillä lapuilla typpitasojen mukaan, ja niihin kirjoitettiin koejäsenen numero, jauhiaistaso ja typpitaso. Koekasvien viikoittaisiin hoitotoimenpiteisiin kuului varkaiden poisto sekä latvojen tukeminen muoviklipseillä tukinaruihin. Kun kasvien latvat alkoivat lähestyä valaisimia, aloitettiin myös 27.8. alimpien lehtien poisto ja 28.8. alaslasku viljelykäytäntöjen mukaisesti. Ensimmäisessä lehtien poistossa alimman tertun alle jätettiin kolme lehteä, ja tätä alemmat poistettiin. Tästä eteenpäin poistettiin joka viikko kolme alinta lehteä ennen alaslaskua, ja alaslaskun yhteydessä poistettiin varkaat ja tuettiin latvat.

5.4 Lannoitus

5.4.1 Kastelujärjestelmä

Koekasvit kasteltiin lannoiteliuksilla, joissa oli neljä erilaista typpipitoisuutta typpitasojen mukaan. Tippukastelujärjestelmä rakennettiin itse. Lannoitesäiliöinä käytettiin 140 litraisia jätesäiliöitä, ja pumppuina Motonetin MTX-Garden mallisia

sadevesipumppuja (4000 l/h, 400 W). Lannoiteliuos johdettiin taimien tyvelle kivivillaan tippukastelusuuttimilla, joiden virtausnopeus oli 1,25 l/h. Lannoitesammiot merkattiin samoilla typpitasojen värikoodeilla kuin koejäsenetkin. Niihin kirjoitettiin typpitaso ja lannoitusvaihe.

Kastelulannoitus aloitettiin 31.7. istutuksen jälkeen aluksi 3 x 15 minuuttia päivässä klo 9:00–16:15 välillä. Neljäs kastelu lisättiin 15.8. ja aikaväliä pidennettiin klo 7:30–16:30. Kastelut ajastettiin ensin mekaanisilla kellokytkimillä, mutta automatisointi siirrettiin 19.8. kasvihuoneiden keskusjärjestelmään, sillä kellokytkimet eivät olleet tarpeeksi tarkkoja. Siirron yhteydessä kastelut lyhennettiin 12 minuuttiin kerrallaan ja lisättiin viides kastelu klo 7:00–16:00 välille. Kastelua aikaistettiin 23.8. alkamaan klo 6:00, pidennettiin 15 minuuttiin kerrallaan, ja kasteluvälit tasattiin.

Kasvien saama lannoiteliuoksen määrä per kastelukerta mitattiin kokeen aikana kahteen kertaan kaikilta kasveilta. Ensimmäisellä mittauksella 10.8. mitattiin kaikki huoneet kolmessa erässä (yksi paririvi per kastelukerta), ja lannoiteliuosten määrät olivat keskimäärin 350 ja 347 ml typpitasoille N1 ja N2 sekä 341 ml typpitasoille N3 ja N4. Toisella mittauksella 6.10. mitattiin kahden kastelun keskiarvo, ja määrät olivat keskimäärin 365 ml typpitasoille N1 ja N4 sekä 367 ja 364 ml typpitasoille N2 ja N3. Ensimmäisessä mittauksessa kastelut oli vielä ajastettu kellokytkimellä, toisessa mittauksessa kasvihuoneen keskusjärjestelmän kautta.

5.4.2 Lannoiteliuokset

Lannoiteliuokset tehtiin Kekkilän lannoitusasiantuntija Rolf Westerholmin laatimien reseptien pohjalta (liite 1). Referenssilannoitus (käsittely N3) perustui kaupallisilla viljelmillä yleisesti käytettyihin suosituksiin. Lannoiteliuoksissa oli neljä eri typpitasoa (N1, N2, N3, N4). Typpitasoilla N1 ja N2 typen määrää oli vähennetty. N3 toimi kontrollina eli typpeä oli tavanomainen määrä, ja N4 oli ”typpimetodin” mukainen eli typpeä oli tavanomaista runsammin. Vähennettyä typpeä korvattiin kloridilla ja sulfaatilla, jotta lannoiteliuosten johtokyky pysyisi sopivana. Jokaisella typpitasolla oli kolme eri lannoitusvaihetta kaupallisten viljelmien käytäntöjen mukaan. Reseptien mukaiset lannoitusvaiheet olivat alkulannoitus, kunnes taimissa oli kaksi terttua; siirtymävaihe, kunnes taimissa oli neljä terttua ja lopullinen lannoitus, kun taimissa oli viisi terttua. Alkulannoitus kesti 31.7.–16.8., siirtymävaihe 17.–24.8., ja lopullinen

lannoitus alkoi 25.8. Lannoiteliuosten typpipitoisuus väheni alkuvaiheen jälkeen loppua kohden kaikilla typpitasoilla. Toteutuneet typpipitoisuudet (taulukko 1) poikkesivat alkuperäisistä resepteistä, sillä lannoiteliokset laimennettiin johtokyvyn perusteella, ja osaa jouduttiin laimentamaan reseptiin nähden enemmän kuin toisia. Lopuksi säädettiin pH typpihapolla (65 %, eränumero 2019001866, Avantor, Radnor Township, Pennsylvania, Yhdysvallat) alkulannoituksessa ja siirtymävaiheessa välille 5,2–5,5 ja lopullisessa lannoitusvaiheessa välille 5,3–5,7. Lannoitelioksen johtokyky mitattiin EC-mittarilla, jonka anturi sijaitsi pienessä kupissa (Mesur EC Meter Complete, DGT-Volmatic, Lieto, Suomi), ja pH toisella mittarilla (Combo pH/Conductivity/TDS Tester (Low Range) HI98129, Hanna Instruments Africa, Bedfordview, Etelä-Afrikka).

Taulukko 1. Lannoiteliuosten toteutuneet typpipitoisuudet (mg/l) keskiarvona jokaiselle lannoitusvaiheelle ja typpitasolle.

Typpitaso	Alkulannoitus (mg/l)	Siirtymävaihe (mg/l)	Lopullinen lannoitus (mg/l)
N1	317	212	128
N2	318	256	169
N3	372	306	242
N4	406	331	287

5.5 Jauhaiset

5.5.1 Ensimmäinen vaihe: kuolleisuus ja kehitysaika

Jauhaiset munitettiin aiempien tutkimusten (Himanen ym. 2008, Koivisto 2010) pohjalta valmistetuissa klipsihäkeissä (liite 2) kolmelle lehdelle per kasvi. Lehdiksi valittiin 2. tai 3. ylin lehti sekä kaksi sen alapuolista lehteä, sillä ansarijauhaiset munivat yleensäkin ylimpiin lehtiin (van Lenteren ja Noldus 1990, Jauset ym. 1998, Park ym. 2009). Lehdet olivat kokonaan tai lähes kokonaan auenneita, mutta eivät vielä täysikokoisia, ja niissä oli useita lehdyköitä. Lehdet merkattiin jauhiaistason mukaan värillisillä nauhoilla, joihin kirjoitettiin kasvin ja lehden numero. Munituksessa sovellettiin Koiviston (2010) käyttämää menetelmää. Jauhaiset kerättiin kasvatushäkeistä aspiraattoreilla pieniin lasiputkiin, joiden suu tukittiin pumpulilla. Niiltä määritettiin sukupuoli (Morrill 1903, Xie ym. 2011), jonka jälkeen ne ryhmiteltiin sukupuolittain lasiputkiin tainnutusta varten. Lasiputkista jauhaiset imettiin aspiraattoriin, jonne johdettiin hiilidioksidia noin kymmenen sekunnin ajan. Tämän jälkeen jauhaiset laskettiin uudelleen tummaa alustaa

vasten ja siirrettiin klipsihäkkeihin, ja klipsihäkit kiinnitettiin ensisijaisesti tomaatin lehden päätylehdykkään ennen kuin jauhiaiset ehtivät herätä. Mikäli päätylehdykkä oli jollain tavalla huono, esimerkiksi liian käpristynyt, valittiin jompikumpi viereinen lehdykkä. Jauhiaisten annettiin munia klipsihäkeissä vuorokauden ajan (kuva 1), jonka jälkeen klipsihäkit poistettiin samassa järjestyksessä kuin ne oli laitettu. Poiston yhteydessä jauhiaiset tainnutettiin hiilidioksidilla noin viiden sekunnin ajan. Klipsihäkkiä koputeltiin tai puhallettiin kevyesti, jotta jauhiaiset tippuisivat häkin pohjalle. Tämän jälkeen munat laskettiin valaistun luopin avulla.



Kuva 1. Kokeen ensimmäisessä vaiheessa käytetty klipsihäkki.

Munitus aloitettiin 7.8. huoneesta 54, ja tällöin jauhiaisia tainnutettiin hiilidioksidilla 20 sekunnin ajan, kuten Koivisto (2010) oli tehnyt. Tavoitteena oli 8–12 munaa per lehti, mutta munia ei saatu tarpeeksi ja 8.8. kaikki poistettiin. Seuraavana päivänä kokeiltiin jauhiaiskasvatushuoneessa jauhiaisten tainnutusta eri hiilidioksidiannostuksilla 10, 20 ja 30 sekunnin ajan, koska epäiltiin, että tainnutus oli aiheuttanut jauhiaisille liian suuren stressin ja estänyt niiden muninnan. Tämän perusteella hiilidioksidia päädyttiin antamaan vain kymmenen sekunnin ajan. Virtausnopeus oli niin pieni, että hana oli vain juuri ja juuri auki. Munitus aloitettiin uudelleen 10.8. kolmella naaraalla ja kahdella koiraalla,

mutta vain 15 lehdellä saavutettiin tavoitemäärä munia. Munat poistettiin 33 lehdeltä, ja 12.8. ne munitettiin uudelleen. Munamäärän varmistamiseksi naaraiden määrä lisättiin kuuteen ja koiraat jätettiin kokonaan pois. Tämänkin jälkeen vielä kolme lehteä jouduttiin munittamaan uudelleen 13.8., ja munien tavoitemääräksi muutettiin 24–40 munaa per kasvi kaikki kolme lehteä huomioiden. Huoneen 53 kasvit munitettiin 14.8. ja huoneen 52 kasvit 16.8. kuudella naaraalla per klipsihäkki ja kymmenen sekunnin hiilidioksidiannoksella. Muutaman päivän kuluttua munat laskettiin uudelleen niiden värin muututtua tummemmaksi, ja tässä yhteydessä ylimääräiset munat poistettiin. Kuvassa 2 näkyvät jauhiaiskäsittelyiden ajankohdat suhteessa lannoitusvaiheisiin.

vk 31	vk 32	vk 33	vk 34	vk 35	vk 36	vk 37	vk 38	vk 39
Alkulannoitus			Siirtymävaihe	Lopullinen lannoitus				
31.7.-16.8.			17.-24.8.	25.8.-				
1. munitus (kuolleisuus ja kehitysaika)				Kuoriutumisen (rasioissa)				
10.8. H54 (1)				3.9.- H54		-14.9. H54		
12.8. H54 (2)				4.9.- H53		-13.9. H53		
13.8. H54 (3)				6.9.- H52		-20.9. H52		
14.8. H53				2. munitus (muninnan määrä)				
16.8. H52				4.9.- H54		-22.9. H54		
				5.9.- H53		-26.9. H53		
				9.9.- H52		-26.9. H52		

Kuva 2. Kokeen aikataulua: lannoitusvaiheet ja jauhiaisten käsittelyt.

Huoneiden 53 ja 52 munitus onnistui ensimmäisellä kerralla. Yksi mahdollinen syy huoneen 54 alun kangerteluun saattoi liittyä lisävalotukseen, sillä muninta alkoi sujua vasta kun valotus aloitettiin. Jauhiaisten kasvatushuoneessa oli loisteputkivalot, ja huone oli päätyseinällä. Testimunitukseen käytetyt kasvit olivat kaiken kaikkiaan valoisammassa olosuhteissa kuin koehuoneissa.

5.5.2 Kuoriutumisen seuranta

Jauhiaisten kehitystä kasveilla seurattiin muutaman kerran luopilla. Kun ne olivat kotelovaiheessa lähellä kuoriutumista, lehdykät kerättiin kirkkaiisiin muovirasioihin, joiden kanteen oli tehty neulalla ilmareikiä. Pohjalle laitettiin kostea talouspaperin pala, jotta lehdykät eivät kuivuisi heti. Jauhiaiset alkoivat kuitenkin kuoriutua ennenaikaisesti, useita päiviä ennen kuin niiden odotettiin kuoriutuvan. Huoneissa 54 (6 lehdeltä) ja 53 (10 lehdeltä) osa ehti kuoriutua vapaasti ennen lehdykän irrotusta, eikä niiden sukupuolta saatu selville. Myös kuoriutumispäivä jäi muutamalla yksilöllä epävarmaksi.

Rasioita seurattiin päivittäin mikroskoopilla. Kuoriutuneiden ja kuoriutumattomien koteloiden määrät laskettiin, kuoriutuneet aikuiset jauhiaiset kerättiin pois rasioista aspiraattorilla ja niiltä tarkastettiin sukupuoli. Osa jauhiaisista pääsi karkaamaan rasian kannen välistä ja osaa ei löytynyt, joten sukupuolitiedot kerättiin otantana. Kuoriutumista seurattiin, kunnes kaikki kotelot olivat kuoriutuneet, tai jäljelle jääneet katsottiin kuolleiksi. Seuranta kesti huoneen 54 lehdyköiltä 3.–14.9., huoneen 53 lehdyköiltä 4.–13.9. ja huoneen 52 lehdyköiltä 6.–20.9.

5.5.3 Toinen vaihe: muninnan määrä

Rasioissa kuoriutuneista naaraista otettiin jokaiselle J2-jauhiaistason kasville kolme tai neljä naarasta. Naaraat otettiin pääsääntöisesti samalta kasvilta: muutama oli eri kasvilta, mutta samalta tyypitasolta ja samasta huoneesta. Jokaiselle naaraalle otettiin pari koiras, ja ne siirrettiin tomaatin lehdille gelatiinikapseleista valmistettuihin hähkeihin yksi naaras ja yksi koiras per kapseli (kuva 3). Koiraat olivat myös pääsääntöisesti samalta kasvilta, mutta osa otettiin eri kasveilta tai jauhiaiskasvatushuoneesta, sillä niiden alkuperä ei ollut niin merkittävä. Lehti valittiin samoin perustein kuin kokeen ensimmäisessä vaiheessa, ja kaikki kapselit kiinnitettiin saman lehden eri lehdyköille. Kapseleista avattiin ”korkki”, jauhiaiset siirrettiin reiästä sisään aspiraattorilla varovaisesti puhaltamalla ja naputtelemalla aspiraattorin lasiputkea, ja ”korkki” suljettiin. Kapseleiden teippialustaan merkattiin kasvin ja naaraan numero sekä päivämäärä. Gelatiinikapselihähkejä käytettiin ja ne valmistettiin samoista materiaaleista kuin Koiviston (2010) tutkimuksessa. Menetelmä oli alkujaan peräisin Liun ja Stanslyn (1998) kokeesta, ja sitä oli kehitetty Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT Jokioisten toimipaikassa Delia Pinton ja muiden tutkijoiden toimesta (Koivisto 2010).

Viikon jälkeen jauhiaiset siirrettiin uuteen kapseliin uudelle lehdelle. Vanha lehdykkä irrotettiin ja jauhiaiset siirrettiin aspiraattorilla hetkeksi pieneen lasiputkeen, joka oli tukittu pumpulilla. Jos naaras oli kuollut, seuranta lopetettiin. Jos koiras oli kuollut, tilalle otettiin uusi. Lasiputkesta jauhiaiset siirrettiin aspiraattorilla uuteen kapseliin ja munat laskettiin mikroskoopilla. Naaraiden munintaa seurattiin vielä toisen viikon ajan. Kaiken kaikkiaan toinen vaihe kesti huoneessa 54 4.9.–22.9., huoneessa 53 5.9.–26.9. ja huoneessa 52 9.9.–26.9.



Kuva 3. Kokeen toisessa vaiheessa käytetty, gelatiinikapselista valmistettu ”häkki”.

Kokeen toinen vaihe kuitenkin epäonnistui eikä siitä saatu tarpeeksi dataa tilastollista analysointia varten. Erityisesti huoneessa 53 kapselit pehmenivät viikon kuluessa niin paljon, että osa irtosi teippialustasta kokonaan, ja osa lehdistä käpertyi niin, että teippien alle muodostui rakoja, joista osa jauhiaisista pääsi karkaamaan. Huoneissa 54 ja 53 oli myös ongelmana, että naaraat kuolivat ensimmäisellä tai toisella viikolla, ja osalla naaraista muninta oli vähäistä tai olematonta. Ainoastaan huoneessa 52 menetelmän käyttö onnistui, mutta se ei yksinään riittänyt tilastolliseen analyysiin. Heikkoa munintaa ja ennenaikaisia kuolemia saattoi osaltaan selittää naaraiden vahingoittuminen tai hapen puute kapseleissa. Huoneet 54 ja 53 munitettiin ensin, ja osa naaraista saattoi vahingoittua siirrossa, jota ei ehditty harjoitella tarpeeksi etukäteen. Huoneessa 53 gelatiinikapseleiden pehmeneminen saattoi johtua korkeasta ilmastokosteudesta, ja niihin tehdyt ilmanreiät mahdollisesti sulivat umpeen heikentäen kaasujenvaihtoa ja jauhiaisten hapen saantia. Kapseleiden pehmeneminen ei ehkä olisi aiheuttanut ongelmia, jos jauhiaiset olisi siirretty uuteen useammin, esimerkiksi kolmen tai neljän päivän välein.

5.6 Näytteiden otto

5.6.1 Kasvualustan johtokyky

Lannoiteliuoksen johtokykyä pidetään yleisesti ravinnepitoisuuden indikaattorina (Santos & Torres-Quezada 2018). Kasvualustan johtokyky ei suoraan kerro kasvualustan typpipitoisuudesta, mutta se antaa suuntaa ravinnepitoisuuksista. Kasvualustan

johtokykyä, kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa seurattiin 5.–19.8. joka aamu kaikista kasveista Grodan GroSens HandHeld Meterillä (Grodan, Roermond, Alankomaat), minkä jälkeen oli siirryttävä mittaamaan vain kerran viikossa kaikista kasveista, sillä kivivillojen rakenne alkoi kärsiä anturin (malli 132253, Grodan, Roermond, Alankomaat) piikeistä ja päivittäisistä mittauksista. Mittausajankohta vaihdettiin 28.8. mittauksesta alkaen keskipäivään käytännön syistä.

5.6.2 SPAD

SPAD on hyvä indikaattori kuvaamaan kasvin typpistatusta (Padilla ym. 2015). Klorofyllipitoisuus korreloi typpipitoisuuden kanssa, ja lannoitetypen annostus vaikuttaa lehden klorofyllipitoisuuteen (Padilla ym. 2015, Assis de Oliveira ym. 2017). Kasveista mitattiin klorofylli-indeksi kokeen aikana kolme kertaa SPAD-mittarilla (SPAD-502, Minolta, Tokio, Japani). Mittaukset tehtiin lannoitusvaiheen vaihtuessa 17.8., 24.–25.8. ja 9.–11.9. Ensimmäisessä mittauksessa mitattiin nuorin täysin avautunut lehti, joka useimmiten oli kuudes lehti latvasta lukien. Tämä oli pääsääntöisesti yksi jauhiaislehdistä, lukuun ottamatta kasveja 9, 11, 12 ja 81. Mittaukset otettiin kolmesta lehdykstä lehden kärjestä, mutta ei jauhiaislehdykstä, jotta jauhiaiset eivät vahingoittuisi. Jokaisesta lehdykstä otettiin yksi mittaus noin lehdykän puolivälistä. Toisessa mittauksessa mitattiin ylimmät täysin avautuneet lehdet ja lisäksi kaikki kolme jauhiaislehteä per kasvi. Jauhiaislehtien mittaukset otettiin jauhiaislehdykän kolmesta viereisestä lehdykstä, yhteensä kolme mittausta per lehti. Kolmannella mittauksella mitattiin nuorimmat täysin avautuneet lehdet ja J3-tason jauhiaislehdet. J2-tason jauhiaislehdet oli tässä vaiheessa jo irrotettu.

5.6.3 Lehden typpipitoisuus

Kasveista kerättiin kokeen lopulla kokoomanäytteet typpipitoisuuksien määrittämiseksi laboratoriossa. Joka huoneesta kerättiin neljä lehtinäytettä per typpitaso, eli joka lohkoista yksi lehtinäyte, jotka koottiin yhteen. Huoneesta 52 lehdet kerättiin 21.9. ja ne säilytettiin yön yli kylmiössä (+10 °C). Huoneista 53 ja 54 kerättiin näytteet 22.9., ja kaikki näytteet vietiin laboratorioon typpipitoisuuden analysoimiseksi kuivanäytteistä. Laboratorio-analyseissä noudatettiin Finas-akkreditoituja menetelmiä kasvinäytteille (JOK3002 ja JOK3004). Lehtinäytteet kuivattiin yön yli 105 °C, minkä jälkeen niistä analysoitiin typpipitoisuus Kjeldahl-menetelmällä.

5.7 Kokeen lopetus

Jauhiaisia seurattiin kokeen toisen vaiheen loppuun, ja tämän jälkeen kokeesta kerättiin vielä muuta dataa hankkeen muita tarkoituksia varten. Tomaattien latvat katkaistiin 2.10. ja kastelu lopetettiin 8.10., jolloin koe päättyi.

5.8 Tilastollinen analyysi

Tilastollinen analyysi tehtiin SAS-ohjelmistolla (SAS 9.4, SAS Institute, Cary, Pohjois-Carolina, Yhdysvallat). Analyysissä käytettiin GLIMMIX-proseduuria ja normaalijakaumaa muissa paitsi kuolleisuuden mallissa binomijakaumaa. Mallien sopivuutta tarkasteltiin residuaalikuvioiden perusteella.

5.8.1 Kuolleisuus

Jauhiaisten kuolleisuus munasta aikuiseksi laskettiin kaikilta kasveilta munien ja tyhjien koteloiden välisestä suhteesta. Analyysissä käytettiin huoneiden 53 ja 52 kohdalla ylimääräisten munien poiston yhteydessä uudelleenlaskettuja munamääriä. Huoneen 54 kohdalla oli käytettävä klipsihäkkien poiston yhteydessä laskettuja munamääriä, sillä ylimääräisten munien poiston aikaan osa munista oli lähes läpinäkyviä, eikä kaikkia huomattu. Tämä johti siihen, että uudelleenlaskettuja munamääriä käytettäessä tyhjiä koteloidia olikin enemmän kuin havaittuja munia. Lopulliset analyysissä käytetyt munamäärät olivat 15–43 per kasvi. Munamäärät poikkesivat hieman tavoitteesta, sillä yhdeltä kasvilta jätettiin yksi lehti pois analyysistä, ja viideltä kasvilta oli jäänyt joitakin munia huomaamatta ylimääräisiä munia poistettaessa. Tilastollisen mallin kiinteänä muuttujana oli typpitaso ja satunnaisina muuttujina olivat huone, lohko sisäkkäisenä huoneelle sekä huoneen ja typpitason yhdysvaikutus.

5.8.2 Kehitysaika

Kehitysjan tilastolliseen analyysiin otettiin mukaan vain sellaiset lehdet, joilta tiedettiin ensimmäisenä ja viimeisenä kuoriutuneiden jauhiaisten sukupuoli ja kuoriutumispäivä. Mikäli kuoriutuneita oli ensimmäisenä tai viimeisenä päivänä useita, lehti otettiin mukaan, kunhan kummaltakin päivältä oli vähintään yksi yksilö, jonka sukupuoli oli

tiedossa. Datassa oli mukana 1–3 lehteä per kasvi, joilta nämä sukupuolitiedot saatiin, paitsi yhdeltä kasvilta (huone 54, typpitaso N2) ei saatu yhtäkään lehteä onnistuneesti mukaan. Kaikki sellaiset lehdet, joilta ei tiedetty ensimmäisenä kuoriutuneen aikuisen jauhiaisen kuoriutumispäivää tai sukupuolta, tai viimeisenä kuoriutuneen sukupuolta, jätettiin datasta pois. Data analysoitiin vain naaraiden ja koiraiden kehitysaikojen osalta. Yksilöt, joiden sukupuolta ei tiedetty, jäivät analyysistä pois. Analyysissä käytettiin yhteensä 924 jauhiaisyksilön tiedot sukupuolen ja kehitysaikojen osalta. Mallin kiinteinä muuttujina olivat typpitaso, jauhiaisen sukupuoli ja näiden yhdysvaikutus. Satunnaisina muuttujina olivat huone, lohko sisäkkäisenä huoneelle, huoneen ja typen yhdysvaikutus sekä typen ja lohkon yhdysvaikutus sisäkkäisenä huoneelle.

5.8.3 Kasvualustan johtokyky

J2-kasvien kasvualustan johtokykymittauksista laskettiin eri lannoitusvaiheille keskiarvot, jotka analysoitiin tilastollisesti mahdollisten erojen löytämiseksi typpitasojen välille. Alkulannoituksen keskiarvo laskettiin 5.–16.8. aamujen mittauksista, siirtymävaiheen keskiarvo 17.–19.8. aamujen mittauksista ja lopullisen lannoituksen keskiarvo 28.8.–25.9. keskipäivien mittauksista. Keskiarvot laskettiin vain niistä mittauksista, joissa oli kaikki J2-tason kasvit mukana. Tilastollisen mallin kiinteinä muuttujina olivat typpitaso, lannoitusvaihe ja näiden yhdysvaikutus. Satunnaisina muuttujina olivat huone, lannoitusvaiheen ja huoneen yhdysvaikutus, lohko sisäkkäisenä huoneelle, lannoitusvaiheen ja lohkon yhdysvaikutus sisäkkäisenä huoneelle, huoneen ja typpitason yhdysvaikutus, typpitason ja lohkon yhdysvaikutus sisäkkäisenä huoneelle sekä lannoitusvaiheen, huoneen ja typpitason yhdysvaikutus.

5.8.4 SPAD

J2-jauhiaislehtien klorofylli-indeksit analysoitiin tilastollisesti typpitasojen välisten erojen selvittämiseksi. Ensimmäisestä mittauksesta jäi uupumaan kasvit 9, 11, 12 ja 81, sillä ne eivät olleet jauhiaislehtiä, sekä 138, jonka lukema oli huomattavan alhainen ja tulkittiin myöhemmin mittausvirheeksi. Toisesta mittauksesta laskettiin kaikkien kolmen jauhiaislehden keskiarvo. Analyysissä käytettiin muuten samaa mallia kuin kasvualustan johtokyvyllä, paitsi lannoitusvaiheen tilalla oli mittauskerta.

5.8.5 Lehden typpipitoisuus

Laboratoriossa analysoitujen lehtinäytteiden kuiva-aineen typpipitoisuus analysoitiin tilastollisesti. Koska näytteet oli kerätty kokoomanäytteenä kaikilta lohkoilta per huone, lohko vaikutus jäi mallista pois. Kiinteänä muuttujana oli typpitaso ja satunnaisina muuttujina olivat huone sekä huoneen ja typpitason yhdysvaikutus.

6 TULOKSET

6.1 Kuolleisuus

Tutkimushypoteesina oli, että typpilannoituksen vähentäminen lisäisi ansarijauhiaisen kuolleisuutta munasta aikuiseksi. Tulosten perusteella jauhiaisten kuolleisuudella ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitseviä eroja typpitasojen välillä. Kuolleisuus oli typpitasoilla N1, N2, N3 ja N4 järjestyksessä seuraava: 18,50 (SE = 2,84), 17,68 (SE = 2,71), 18,92 (SE = 2,76) ja 17,70 (SE = 2,63) prosenttia.

6.2 Kehitysaika

Tutkimushypoteesina oli, että typpilannoituksen vähentäminen hidastaisi ansarijauhiaisen kehitysnopeutta tomaatilla. Tulosten perusteella lannoiteliuoksen typpipitoisuudella ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta jauhiaisten kehitysaikaan munasta aikuiseksi (taulukko 2). Ainoat tilastollisesti merkitsevät erot kehitysajoissa olivat sukupuolten välillä, ja typpitasojen sisällä naaraiden kehitysaika oli merkitsevästi lyhempi kuin koirilla: typpitasoilla N1, N2, N3 ja N4 naaraat kehittyivät keskimäärin 1,04; 0,88; 1,49 ja 1,09 vuorokautta koiraita nopeammin ($p < 0,001$ kaikissa). Poikkeuksen tekevät N1-typpitason naaraat ja N2-typpitason koiraat, joiden välillä merkitsevää eroa ei ollut ($p = 0,071$). N1-tason naaraiden kehitysaika ei kuitenkaan poikennut muiden typpitasojen naaraista eikä N2-tason koiraiden kehitysaika muiden typpitasojen koiraista.

Taulukko 2. Lannoiteliuoksen typpipitoisuuden vaikutus ansarijauhiaisen (*Trialeurodes vaporariorum*) kehitysaikaan munasta aikuiseksi (keskiarvo, vrk) naaraille ja koiraille. SE = 0,88 kaikilla kehitysajoilla.

Typpitaso	Naaraiden kehitysaika, vrk	Koiraiden kehitysaika, vrk
N1	23,75 ^{ab}	24,79 ^c
N2	23,65 ^a	24,53 ^{bc}
N3	23,34 ^a	24,83 ^c
N4	23,64 ^a	24,73 ^c

abc: eri kirjaimella merkityt kehitysajat poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$; Tukey)

6.3 Kasvualustan johtokyky

Kasvualustan johtokykyä tarkasteltiin tomaatin typpipitoisuuteen vaikuttavana taustamuuttujana sillä ajatuksella, että siinä ilmenevät erot kuvastaisivat epäsuorasti eroja kasvualustan typpipitoisuudessa eri lannoitusvaiheissa. Typpitasojen N1 ja N2 johtokyky oli kaikissa lannoitusvaiheissa merkitsevästi pienempi kuin typpitasojen N3 ja N4 johtokyky (taulukko 3). Alkulannoitusvaiheessa typpitasojen N1 ja N2 johtokyky oli noin 10 prosenttia pienempi kuin typpitasoilla N3 ja N4 ($p < 0,05$ kaikissa). Siirtymävaiheessa typpitasojen N1 ja N2 johtokyky oli noin 15 prosenttia pienempi kuin typpitasolla N3 ja noin 20 prosenttia pienempi kuin typpitasolla N4 ($p < 0,01$ muissa paitsi N2-N3 $p = 0,015$). Lopullisessa lannoitusvaiheessa typpitasojen N1 ja N2 johtokyky oli lähes 30 prosenttia pienempi kuin typpitasoilla N3 ja N4 ($p < 0,01$ kaikissa). Typpitasojen N1 ja N2 kasvualustan johtokykyluvut eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi missään lannoitusvaiheessa, eivätkä typpitasojen N3 ja N4 toisistaan.

Taulukko 3. Kasvualustan johtokykylukemat (mS/cm) typpitasoittain kokeen eri lannoitusvaiheissa. Alkulannoitusvaiheessa SE = 0,13; siirtymävaiheessa SE = 0,19 ja lopullisessa lannoituksessa SE = 0,17.

Typpitaso	Alkulannoitus	Siirtymävaihe	Lopullinen lannoitus
N1	3,87 ^a	3,91 ^a	2,72 ^a
N2	3,93 ^a	3,99 ^a	2,75 ^a
N3	4,32 ^b	4,66 ^b	3,73 ^b
N4	4,31 ^b	5,01 ^b	3,88 ^b

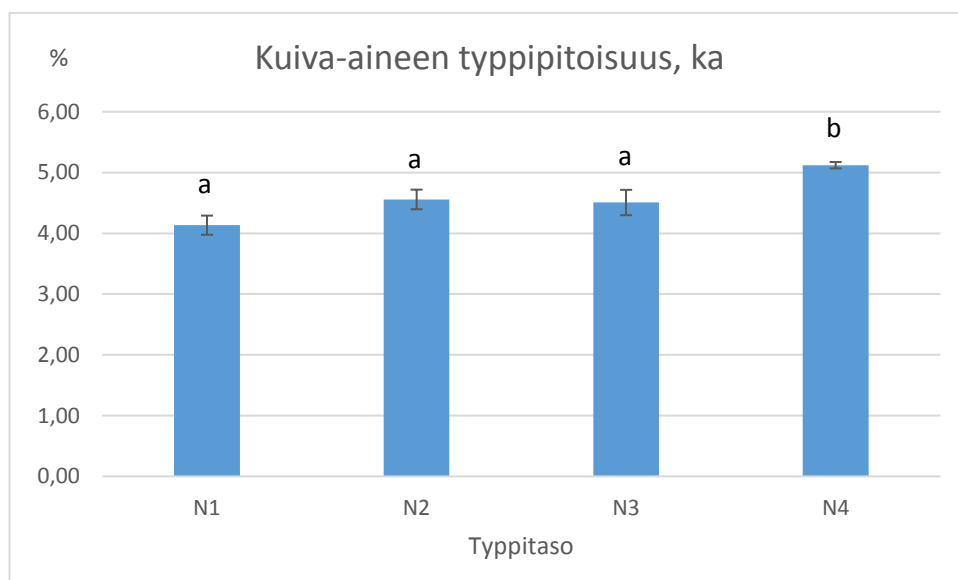
ab: sarakkeessa eri kirjaimella merkityt johtokykylukemat eroavat toisistaan tilastollisesti merkittävästi ($p < 0,05$; Tukey)

6.4 Jauhiaislehtien SPAD

Jauhiaislehtien klorofylli-indeksiä tarkasteltiin taustamuuttujana, joka kuvaisi kasvien typpipitoisuutta kokeen aikana eli sitä, toteutuivatko lannoiteliuosten typpipitoisuuksien väliset erot myös kasvien typpipitoisuuksissa kokeen aikana. SPAD-luvuissa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja typpitasojen välillä kummallakaan mittauksella. Ensimmäisellä mittauksella SPAD-luvut olivat typpitasoille N1, N2, N3 ja N4 järjestyksessä seuraavat: 44,6 (SE = 0,97), 43,2 (SE = 0,97), 45,1 (SE = 0,97) ja 44,6 (SE = 0,98). Toisella mittauksella SPAD-luvut olivat samassa järjestyksessä 48,5; 47,1; 48,2 ja 48,4 (SE = 1,06).

6.5 Lehtinäytteiden typpipitoisuus kokeen lopussa

Kokeen loppupuolella kerätyistä lehtinäytteistä analysoitiin kuiva-aineen typpipitoisuus, jotta saatiin selville, miten lannoiteliuosten typpipitoisuuksien erot vaikuttivat kasvien typpipitoisuuksiin. Tulosten perusteella ainoastaan typpitason N4 typpipitoisuus erosi muista tilastollisesti merkitsevästi (kuva 4). Typpitasolla N4 typpeä oli kuiva-aineessa 0,99; 0,56 ja 0,61 prosenttiyksikköä enemmän kuin typpitasoilla N1 ($p < 0,01$), N2 ($p = 0,021$) ja N3 ($p = 0,015$).



Kuva 4. Kokeen lopussa kerättyjen lehtinäytteiden kuiva-aineen typpipitoisuus. Lehdet kerättiin kokoomanäytteinä typpitasoittain per huone, $n = 3$ per typpitaso (virhejanat: keskiarvojen keskivirheet). Eri kirjaimilla merkityt typpitasot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$; Tukey).

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Kuolleisuus

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, lisäisikö lannoiteliuksen pienempi typpipitoisuus ansarijauhiaisen kuolleisuutta munasta aikuiseksi tomaatilla. Tulosten perusteella lannoiteliuksen typpipitoisuudella ei ollut vaikutusta jauhiaisten kuolleisuuteen munasta aikuiseksi. Tulos vastaa osittain Jausetin ym. (2000) aiempaa tutkimusta: he havaitsivat, että ansarijauhiaisen munien kuolleisuus oli merkitsevästi suurempi vain alimmalla typpilannoitustasolla (84, 140 ja 308 ppm), mutta toukkavaiheiden kuolleisuuteen typpilannoituksella ei ollut vaikutusta. Jokioisten kokeessa erot lannoiteliuosten typpipitoisuuksien välillä olivat kuitenkin huomattavasti pienemmät ja typpipitoisuus alimmallakin typpitasolla huomattavasti suurempi kuin Jausetilla ym. (2000). Vasta lopullisessa lannoitusvaiheessa typpipitoisuudet jokseenkin vastasivat Jausetin ym. (2000) kahta ylempää typpitasoa, joilla eroja munien kuolleisuudessa ei havaittu.

Kirjallisuudessa on esitetty ansarijauhiaisen nuoruusasteiden kuolleisuuden olevan hyvin vaihtelevaa jopa kasvilajin sisällä, ja tomaatilla kuolleisuus ennen aikuisuutta on ollut keskimäärin 17,5 prosenttia lämpötiloissa 12–30 °C (van Lenteren ja Noldus 1990). Kokeen tulos vastaa tätä varsin hyvin: kuolleisuus oli eri typpitasoilla 17,7–18,9 prosenttia.

7.2 Kehitysaika

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko lannoiteliuksen typpipitoisuutta vähentämällä hidastaa ansarijauhiaisen kehitysnopeutta tomaatilla. Lannoiteliuksen typpipitoisuudella ei kuitenkaan tässä kokeessa havaittu vaikutuksia jauhiaisten kehitysaikaan. Aiemmat tutkimustulokset ovat osittain ristiriitaisia, sillä osassa lannoiteliuksen typpipitoisuuden vähentäminen on hidastanut ansarijauhiaisen kehitysaikaa pitoisuuksilla 174–395 ppm (Park ym. 2009, Hosseini ym. 2015). Toisaalta Jauset ym. (2000) eivät havainneet merkitseviä eroja kehitysajoissa, vaikka lannoiteliuosten typpipitoisuudet vaihtelivat niinkin suurella välillä kuin 84–308 ppm. Hosseini ym. (2015) arvelevat, että kehitysaikojen erojen taustalla voi olla muitakin syitä

kuin lannoituksen tyypipitoisuus, kuten esimerkiksi tomaatin lajike tai jauhiaisten genotyyppi.

Tuloksissa yllättävää oli naaraiden systemaattisesti nopeampi kehitysaika. Useissa aiemmissa tutkimuksissa ansarijauhiaisen kehitysaikoja on käsitelty vain yleisesti, eikä sukupuolieroja ole ilmoitettu (Jauset ym. 2000, Park ym. 2009, Hosseini ym. 2015), tai eroja sukupuolten välillä ei ollut (Lorenzo ym. 2016). Hyönteisille on yleistä, että kooltaan suurempi sukupuoli vaatii pidemmän kehitysajan, ja että yleensä naaraat ovat suurempia (Teder 2014). Myös ansarijauhiaisnaaraat ovat keskimäärin koiraita suurempia (esim. Morrill 1903, Jauset ym. 2000). Kokoero on usein havaittavissa varsin helposti paljaallakin silmällä, mutta pienikokoinen naaras ja suurikokoinen koiras saattavat olla niin samankokoisia, että sukupuolieron voi havaita vasta tarkasteltaessa takaruumiin muotoa esimerkiksi mikroskoopilla. Kehitysaikojen ero on yleensä sitä suurempi mitä suurempi on sukupuolten välinen kokoerokin, ja kokoeron ylittäessä 50 prosenttia kehitysajat eroavat lähes poikkeuksetta (Teder 2014). Jauhiaisten sukupuolten välinen kokoero ei kuitenkaan ole valtavan suuri. Lisäksi poikkeuksia koon ja kehitysajan suhteeseen löytyy eri hyönteislahkoista (Teder 2014), ja tuoreen tiedon mukaan koiraiden kuoriutuminen ennen naaraita ei ole niin yleistä kuin aiemmin on ajateltu (Teder ym. 2021). Aleyrodidae-heimo ei kuitenkaan ollut mukana Tederin (2014) ja kumppaneiden (2021) meta-analyyseissä.

Jauhiaisten sukupuolten välisistä kehitysajoista löytyy maininta Baigilta ja kumppaneilta (2015), mutta lajeissa ei ole mukana ansarijauhiaista. Intian olosuhteissa tutkituista jauhiaislajeista koiraat kehittyivät nopeammin kuin naaraat, mukaan lukien etelänjauhiainen. Etelänjauhiainen oli mukana myös Lorenzon ym. (2016) tutkimuksessa, jossa kehitysajoissa ei ollut eroja tomaatilla eikä paprikalla (*Capsicum annuum* L.). Teder ym. (2021) havaitsivat, että monilla hyönteislahkoilla (mukaan lukien Hemiptera, johon jauhiaiset kuuluvat) naaraiden kehitysajat ovat plastisemmat kuin koirailta, ja epäedulliset ympäristöolosuhteet voivat vaikuttaa naaraiden kehitysajan pitenemiseen enemmän kuin koiraiden. Olisivatko Intian ympäristöolosuhteet voineet viivästyttää *B. tabaci* -naaraiden kehitysaikaa? Olisiko kasvihuoneissa Jokioisilla voinut olla niin hyvät olosuhteet, että ne olisivat systemaattisesti nopeuttaneet ansarijauhiaisnaaraiden kehitystä? Voisivatko esimerkiksi lämpötila tai isäntäkasvin ominaisuudet vaikuttaa naaraiden ja koiraiden kehitysaikaan eri tavoin? Baigin ym. (2015) tutkimuksessa lämpötila oli $28,6 \pm 1$ °C ja isäntäkasvina oli munakoiso (*Solanum melongena* L.). Lorenzon ym. (2016)

tutkimuksessa lämpötila oli 25 °C ja isäntäkasveina paprika ja tomaatti (lajike: Elpida). Jokioisten kokeessa lämpötilat olivat keskimäärin 22,5–22,7 °C. Lämpötilalla, isäntäkasvilajilla ja -lajikkeella on useissa yhteyksissä todettu olevan vaikutusta ansarijauhiaisen menestykseen ja kehitysaikaan (van Lenteren ym. 1989, van Lenteren ja Noldus 1990, van Roermund ja van Lenteren 1992 Prijović ym. 2013). Lisäksi jauhiaispopulaatioilla on eroja eliniässä, muninnan määrässä ja siinä, miten ne adaptoituvat isäntäkasveihin, varsinkin jos isäntäkasvi on huonolaatuinen (van Lenteren ym. 1989, De Vis ja van Lenteren 2002). Voisiko jauhiaispopulaatioilla olla eroja myös eri sukupuolten kehitysaajoissa? Voisiko populaatioiden erilainen sopeutumiskyky vaikuttaa naaraiden kehitysaikoihin eri tavoin kuin koiraiden? Voisivatko jauhiaispopulaatiot olla eri tavalla sopeutuneita esimerkiksi isäntäkasvin typpipitoisuuden tai sen muutoksiin? Lorenzon ym. (2016) kokeessa oli eri lajike kuin Jokioisten kokeessa, eivätkä he maininneet koekasvien lannoituksesta mitään, vain että kasvualustana oli steriloitu maa-aines. Kehitysaikojen sukupuolieroihin vaikuttavia tekijöitä voisikin tutkia lisää jauhiaisten erilaisten ympäristöolosuhteiden, kuten lämpötilan, isäntäkasvin lajikkeen ja lannoituksen suhteen sekä jauhiaispopulaatioiden välillä.

7.3 Typpilannoituksen vaikutus tomaatin typpipitoisuuteen

Typpilannoituksen vaikutusta kasvualustan johtokykyyn ja lehtien klorofylli-indeksiin mitattiin kokeen aikana, ja kokeen lopussa analysoitiin lehtinäytteiden kuiva-aineen typpipitoisuus. Kasvualustan johtokyky ei suoraan kerro typpipitoisuudesta, mutta se antaa suuntaa ravinnepitoisuuksista. Tulosten perusteella johtokykyluvuissa oli eroja kahden alimman ja kahden ylimmän typpitason välillä, mikä antaa viitteitä siitä, että kasvualustan ravinnepitoisuuksissa olisi ollut eroja typpitasojen välillä. Erot kahden alimman ja kahden ylimmän typpitason välillä kasvoivat kokeen loppua kohden sekä lannoiteliuosten typpipitoisuudessa että kasvualustan johtokyvyssä, mutta eivät samassa suhteessa. Klorofylli-indekseissä eroja typpitasojen välillä ei kuitenkaan enää havaittu. Saivatko tomaatit kahdella alemmallakin typpitasolla riittävästi typpeä? Kasvithan voivat säädellä ottamansa typen määrää, ja ottaa sitä tarpeidensa mukaan (Pilbeam 2011). Lehtinäytteiden kuiva-aineen typpipitoisuus määritettiin kokeen lopussa, jolloin lannoiteliuosten typpipitoisuuksien erotkin olivat jo suuremmat, mutta silti vain N4 erosi hieman muista typpitasoista. Vaikka typpilannoitusta oli vähennetty lopullisessa lannoitusvaiheessa kolmasosalla (N2) tai lähes puoleen (N1) kontrollista (N3), se ei

lyhyellä aikavälillä vaikuttanut kuiva-aineen typpipitoisuuteen. Myöskään kasvustoa silmäilemällä ei olisi mitenkään voinut päätellä kasvien typpitasoa, sillä ne muodostivat niin yhtenäisen kasvuston koon ja värin puolesta. Vaikuttaisi siltä, että näin lyhyellä aikavälillä typpilannoituksen vähentämisellä ei ollut juurikaan merkitystä tomaatin typpipitoisuuden kannalta ainakaan kokeen kaltaisissa olosuhteissa.

7.4 Typpilannoituksen vaikutus jauhiaisiin

Lannoiteliuosten typpipitoisuudet olivat alkulannoituksessa 317–406 ppm, siirtymävaiheessa 212–331 ppm ja lopullisessa lannoituksessa 128–287 ppm. Varsinkin alkulannoituksessa typpitasojen N1 ja N2 typpipitoisuus oli käytännössä sama (317 ja 318 ppm), ja typpipitoisuuksien erot olivat selvemmat vasta lopullisessa lannoituksessa. Jauhiaiset munitettiin kasveille alkulannoituksen aikana 10.–16.8., siirtymävaihe alkoi 17.8. ja lopullinen lannoitus 25.8. (kuva 2). Loppulannoitus ehti vaikuttaa jauhiaisiin vain 9–12 vuorokautta ennen kuin lehdet irrotettiin kuoriutumisen seurantaan varten. Lehdyköiden irroitusvaiheessa jauhiaiset olivat jo koteloina eli ne olivat lopettaneet ravinnon oton joitakin päivä aikaisemmin. Typpitasojen väliset erot eivät olleet jauhiaisten kehittymisen aikana niin suuret kuin aiemmissa tutkimuksissa (Jauset ym. 2000, Park ym. 2009, Hosseini ym. 2015), eikä vähäisellä typen vähentämisellä välttämättä olekaan selviä vaikutuksia jauhiaisten elinikätaulukoiden muuttujiin (Hosseini ym. 2015). Tämän lisäksi typpeä voi varastoitua tomaatin eri kasvinosiin ja kivivillaan niin paljon, että vaikka typpilannoitus lopetettaisiin kokonaan, se näkyisi tomaatin kasvussa vasta kahden viikon viiveellä (Le Bot ym. 2001). Toisin sanoen jauhiaisten kehityksen aikana kasvien typpipitoisuuksissa ei välttämättä vielä edes ollut havaittavia eroja: klorofylli-indeksitkin viittaisivat tähän. Lehtinäytteet typpipitoisuuden määrittämiseen kerättiin vasta 21.–22.9., joten ne eivät suoraan vastaa kasvien typpipitoisuutta jauhiaisten kehitysaikana, mutta edes niiden perusteella typpitasot eivät eronneet muiden kuin N4:n osalta. J3-jauhiaistason kasvit munitettiin noin viikkoa myöhemmin, mutta dataa ei ole vielä maisterintutkielmaa kirjottaessa käsitelty eikä analysoitu. Jää nähtäväksi, oliko jälkimmäisellä jauhiaistasolla havaittavia eroja typpitasojen välillä.

Vaikka J2-tason jauhiaisten kuolleisuudessa ja kehitysajoissa munasta aikuiseksi ei ollutkaan eroja typpitasojen välillä, ne ovat vain kaksi populaation kasvunopeuteen vaikuttava tekijää. Jauset ym. (2000) eivät havainneet eroja jauhiaisten kehitysajoissa,

mutta siitä huolimatta typpilannoituksen vähentäminen hidasti populaation kasvunopeutta, sillä se lisäsi munien kuolleisuutta ja hidasti naaraiden munintaa. Hosseini ym. (2015) tarkastelivat useampia populaation kasvunopeuteen vaikuttavia tekijöitä, ja havaitsivat niiden ja typpilannoituksen välillä positiivisen yhteyden. Populaation kasvunopeutta tarkasteltaessa pitäisikin ottaa huomioon kuolleisuuden ja kehitysajan lisäksi muitakin siihen vaikuttavia tekijöitä, ja selvittää typpilannoituksen vaikutus näihin. Jokioisten kokeen toisessa vaiheessa oli tarkoitus tarkastella myös jauhiaisten muninnan määrää, mutta vaihe epäonnistui, eikä typpilannoituksen vaikutusta muninnan määrään per naaras saatu selvitettyä. Lisäksi typpilannoituksen vähentämisen vaikutukset biologisten torjuntaeliöiden tehokkuuteen olisi varmistettava ottamalla myös torjuntaeliöt mukaan koeasetelmaan. Isäntäkasvin laadulla voi nimittäin olla vaikutuksia myös torjuntaeliöiden toimintakykyyn (Awmack ja Leather 2002). Jauset ym. (2000) havaitsivat jauhiaisnaaraiden kasvavan suuremmiksi kasveilla, jotka saivat eniten typpilannoitusta. Suurikokoinen jauhiaistoukka voi olla parasitoidille parempi isäntäeliö ja siten parantaa myös parasitoidin menestymistä (Jauset ym. 2000, Pekas ja Wäckers 2020). Kokeen aikana olisi hyvä analysoida myös kasvinesteiden typpi- ja valkuaisainepitoisuuksia, koska ne määrittelevät vahvasti jauhiaisten ravinnon laatua.

Typpilannoituksen vähentäminen ei myöskään saisi aiheuttaa merkittäviä satotappioita. Viljelijöiden voisi olla vaikea hyväksyä typpilannoituksen vähentämisestä aiheutuvia satotappioita, vaikka niitä voisi kompensoida pienemmillä lannoite- ja tuhohyönteisten torjuntakustannuksilla. Tutkimuksessa analysoitujen klorofylli-indeksien ja lehtien typpipitoisuuksien perusteella vähentämisen varaa voisi olla, mutta tarkasteltu aikaväli oli niin lyhyt, että vähennettyjen typpitasojen tomaatit ovat voineet käyttää muiden kasvinosien ja kivivillojen typpivarantoja ylläpitääkseen lehtien typpipitoisuutta. Toisaalta, jos kasveille olisi annettu niin paljon ylimääräistä typpeä, että sitä olisi varastoitunut kivivilloihin, niin kuinka paljon sitä on valunut viemäreihin? Kuinka paljon annetusta tpeestä on mennyt hukkaan? Truffaultin ym. (2019) tutkimuksen perusteella typpilannoitusta voisi vähentää kolmasosaan jo kasvukauden aikana ilman että se heikentäisi sadon määrää ja voisi jopa parantaa sadon laatua. Le Botin ym. (2001) havaintojen perusteella typpilannoituksen voisi jopa lopettaa kokonaan viikkoja ennen satokauden lopetusta. Jälkimmäisellä ei välttämättä olisi merkitystä jauhiaisten hallinnan kannalta, mutta taloudellisia ja ekologisia vaikutuksia sillä kyllä olisi. Typpilannoituksen vähentäminen toisi suoraa säästöä lannoituskustannuksissa sekä vähentäisi ympäristöön tai jätevesiin päätyvää ravinnekuormaa. Optimaalisinta olisi löytää sellainen

typpilannoituksen määrä, joka hidastaisi ansarijauhiaisen populaationkehitystä ja parantaisi biologisen torjunnan tehokkuutta, mutta ei aiheuttaisi sadon menetyksiä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voisiko tomaatin typpilannoitusta vähentämällä lisätä ansarijauhiaisen kuolleisuutta, hidastaa kehitysnopeutta ja vähentää muninnan määrää, ja siten vaikuttaa populaation kasvunopeuteen. Tulosten perusteella typpilannoituksen vähentämisellä ei ollut vaikutusta jauhiaisten kuolleisuuteen tai kehitysaikaan. Kokeen toinen vaihe epäonnistui, eikä typpilannoituksen vaikutuksia muninnan määrään per naaras saatu selvitettyä. Hieman yllättävänä havaintona tuloksissa nousi esiin naaraiden systemaattisesti nopeampi kehitysaika, jolle ei löytynyt kirjallisuudesta suoraa vertailukohtaa. Sukupuolten välistä kehitysaikojen eroa olisi tutkittava lisää, jotta saataisiin selville taustalla vaikuttavat syyt tai mekanismit.

Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että typpilannoituksen tulisi olla huomattavasti nykyisiä kaupallisten viljelmien lannoituskäytäntöjä vähäisempi, jotta sillä voitaisiin hillitä jauhiaispopulaation kasvunopeutta. Tomaatille saattaisi riittääkin tavanomaista vähäisempi typpilannoitus jo viljelyjakson alussa. Tässä tutkimuksessa mitattujen kasvualustan johtokyvyn ja lehtien klorofyllipitoisuuksien perusteella näyttäisi siltä, että nykyisillä viljelykäytännöillä typpeä annetaan tomaateille viljelyjakson alussa yli niiden tarpeen, jolloin osa typestä menee hukkaan. Tämä pitäisi kuitenkin varmistaa lisätutkimuksilla, joissa kontrolloitaisiin typpilannoituksen vaikutus kasvualustan ja tomaatin typpipitoisuuteen sekä huomioitaisiin koko viljelyjakson satovaikutukset tekovalotetuilla viljelmillä Suomen olosuhteissa. Samalla olisi selvitettävä mm. 1) kuinka paljon typpilannoitusta pitäisi vähentää, jotta saavutettaisiin jauhiaispopulaation kasvua hillitsevä vaikutus, 2) miten typpilannoitus vaikuttaa jauhiaiskiilukaisen torjuntatehoon, 3) onko kaupallisilla viljelmillä käytännössä mahdollista käyttää niin vähäistä typpilannoitusta ja 4) kuinka paljon vähentyneestä jauhiaispaineesta ja lannoituskustannuksista seuranneilla taloudellisilla säästöillä voisi kompensoida mahdollisia satotappioita.

9 KIITOKSET

Lämpimät kiitokset ohjaajilleni Irene Vänniselle ja Juha Heleniukselle, jotka neuvoivat, opastivat ja tukivat minua koko kokeen ja tutkielman kirjoitusprosessin ajan. Irenelle erityisesti kiitos myös kokeen suunnittelusta sekä suuresta osasta käytännön toteutusta. Kiitos kokeen tilastollisen suunnittelun avusta Lauri Jauhiaiselle ja Mari Niemelle Lukelta, sekä erityisesti Marille opastuksesta ja kärsivällisyydestä SAS-ohjelmiston kanssa. Kiitokset Esa Palmujoelle (SCADS), joka toimi kokeen suunnittelun ja toteutuksen aikana viljelykonsulttina, jotta koe vastaisi mahdollisimman hyvin kaupallisia viljelmiä sekä osallistui kokeen valmisteluun ja kokeen aikana ilmenneiden viljelytekniisten ongelmien ratkomiseen. Kiitos Rolf Westerholmille (Kekkilä) lannoitereseptien räätälöinnistä. Valtavan iso kiitos myös Luken tutkimushenkilökunnalle, joka osallistui kokeen toteutukseen, erityisesti tutkimusmestareille Sanna Kulmalalle ja Susanna Lehtoselle, jotka olivat keskeisesti mukana kokeessa alusta loppuun. Kiitos myös Anne Nissiselle (Luke) avusta kokeen suunnittelussa ja arvokkaista neuvoista toteutukseen liittyen. Kiitos myös isälleni, joka suunnitteli ja valmisti kanssani erilaisia klipsihäkkien prototyyppejä tutkimuksissa aiemmin käytettyjen klipsihäkkien pohjalta, sekä kaikille muillekin läheisilleni, jotka ovat olleet tukenani tämän pitkällisen prosessin aikana.

10 RAHOITUS

Koe sai rahoitusta Maatilatalouden kehittämisrahasto Makeralta, Maiju ja Yrjö Rikalan Puutarhasäätiöltä sekä Luonnonvarakeskukselta, joka osallistuu Makera-rahoitukseen omarahoitusosuudella. Rahoituksellisesti koe toteutettiin Österbottens Svenska Producentförbundin (Jaustra-hankkeen omistajan) ja Luken välisenä yhteistyönä.

LÄHTEET

Assis de Oliveira, M. O., Martins de Freitas Alves, S., de Fátima Miranda Freitas, E., Felipe Lopes de Faria, H. & Fernandes Lisboa, C. 2017. Relative chlorophyll index on doses of nitrogen fertilization for cherry tomato culture. *African Journal of Agricultural Research* 12: 2946–2953.

- Awmack, C. S & Leather, S. R. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 47: 817–844.
- Baig, M. M., Dubey, A. K. & Ramamurthy, V. V. 2015. Biology and morphology of life stages of three species of whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) from India. *The Pan-Pacific Entomologist* 91: 168–183.
- De Vis, R. M. J. & van Lenteren, J. C. 2002. Longevity, fecundity, oviposition frequency and intrinsic rate of increase of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* on greenhouse tomato in Colombia. *Bulletin of Insectology* 55: 3–8.
- Douglas, A. E. 2006. Phloem-sap feeding by animals: problems and solution. *Journal of Experimental Botany* 57 (4): 747–754.
- Hilje, L., Costa, H. S. & Stansly, P. A. 2001. Cultural practices for managing *Bemisia tabaci* and associated viral diseases. *Crop Protection* 20: 801–812.
- Himanen, S. J., Nissinen, A., Dong, W.-X., Nerg, A.-M., Stewart Jr., C. N., Poppy, G. M., Holopainen, J. K. 2008. Interactions of elevated carbon dioxide and temperature with aphid feeding on transgenic oilseed rape: Are *Bacillus thuringiensis* (Bt) plants more susceptible to nontarget herbivores in future climate? *Global Change Biology* 14: 1–18.
- Hosseini, R. S., Madadi, H., Hosseini, M., Delshad, M. & Dashti, F. 2015. Nitrogen in hydroponic growing medium of tomato affects the demographic parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical Entomology* 44: 643–650.
- Jauset, A. M., Sarasúa, M. J., Avilla, J. & Albajes, R. 1998. The impact of nitrogen fertilization of tomato on feeding site selection and oviposition by *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 86: 175–182.
- Jauset, A. M., Sarasúa, M. J., Avilla, J. & Albajes, R. 2000. Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato on the greenhouse whitefly. *Crop Protection* 19: 255–261.
- Kauppapuutarhaliitto. 2022. Tietoa kasvihuonealasta. Vihannesten viljely kasvihuoneissa. Tomaatti. <https://kauppapuutarhaliitto.fi/tietoa-kasvihuonealasta/vihannesten-viljely-kasvihuoneissa/tomaatti/> Kauppapuutarhaliitto. Viitattu: 18.4.2022.
- Koivisto, K. 2010. Herbivore response on tomato grown at elevated CO₂ and visual responses to narrow bandwidth lightning by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*. MSc thesis. University of Eastern Finland. 95 s.
- Le Bot, J., Jeannequin, B. & Fabre, R. 2001. Growth and nitrogen status of soilless tomato plants following nitrate withdrawal from the nutrient solution. *Annals of Botany* 88: 361–370.

- Liu, T.-X. & Stansly, P. A. 1998. Life history of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on *Hibiscus rosa-sinensis* (Malvaceae). *Florida Entomologist* 81: 437–445.
- Lloyd, L. L. 1922. The control of the greenhouse whitefly (*Asterochiton vaporariorum*) with notes on its biology. *Annals of Applied Biology* 9: 1–32.
- Lorenzo, M. E., Grille, G., Basso, C. & Bonato, O. 2016. Host preferences and biotic potential of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato and pepper. *Arthropod-Plant Interactions* 10: 293–301.
- Martin, J. H., Mifsud, D & Rapisarda, C. 2000. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of Europe and the Mediterranean Basin. *Bulletin of Entomological Research*, 90: 407–448.
- Mattson, W. J. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 119–161.
- Morril, A. W. 1903. The greenhouse Aleyrodes (*A. vaporariorum* Westw.) and the strawberry Aleyrodes (*A. packardi* Morrill): A study of the insects and of their treatment. *Clinical Bulletin. Hatch Experiment Station of the Massachusetts Agricultural College*. S. 24-28. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044107206492&view=1up&seq=3>
- Noldus, L. P. J. J., Rumei, X. & van Lenteren, J. C. 1986. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera, Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera, Aleyrodidae) XIX. Feeding-site selection by the greenhouse whitefly. *Journal of Applied Entomology* 101: 492–507.
- Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M. & Thompson, R. B. 2015. Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. *Annals of Applied Biology* 166: 271–285.
- Parisi, M., Giordano, I., Pentangelo, A. & D’Onofrio, B. 2006. Effects of different levels of nitrogen fertilization on yield and fruit quality in processing tomato. *Acta Horticulturae* 700: 129–132.
- Park, M. K., Kim, J. G., Song, Y. H., Lee, J.-H., Shin, K. & Cho, K. 2009. Effect of nitrogen levels of two cherry tomato cultivars on development, preference and honeydew production of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 12: 227–232.
- Pekas, A. & Wäckers, F. L. 2020. Bottom-up effects on tri-trophic interactions: Plant fertilization enhances the fitness of a primary parasitoid mediated by its herbivore host. *Journal of Economic Entomology* 113: 2619–2626.

- Pilbeam, D. J. 2011. The utilization of nitrogen by plants: A whole plant perspective. *Annual Plant Reviews* 42: 305-351
- Prijović, M., Marčić, D., Drobnjaković, T., Međo, I. and Perić, P. 2013. Life history traits and population growth of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) on different tomato genotypes. *Pesticides and Phytomedicine (Belgrade)*, 28: 239–245.
- Ramachandran, S., Renault, S., Markhman, J., Verdugo, J., Albornoz, M. & Avila-Sakar, G. 2020. Lower nitrogen availability enhances resistance to whiteflies in tomato. *Plants* 9 (9): 1096.
- Ruokavirasto. 2020. Etelänjauhiainen. <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/kasvintuotanto/kasvinterveys/kasvintuhoojat/karanteenituhoojat/etelanjauhiainen/> Ruokavirasto. Päivitetty: 28.9.2020. Viitattu: 22.4.2022.
- Sainju, U. M., Dris, R. & Singh, B. 2003. Mineral nutrition of tomato. *Food, Agriculture & Environment* 1: 176-183.
- Santos, B. M. & Torres-Quezada, E. A. 2018. Irrigation and Fertilization. Teoksessa: Heuvelink, E. (toim.), *Tomatoes*, 2nd Edition. Glasgow, UK: Bell & Bain Ltd. S. 180–206.
- Singh, V. & Sood, A. K. 2017. Plant Nutrition: A tool for the management of hemipteran insect-pests - A review. *Agricultural Reviews* 38: 260–270.
- Teder, T. 2014. Sexual size dimorphism requires a corresponding sex difference in development time: a meta-analysis in insects. *Functional Ecology* 28: 479–486.
- Teder, T., Kaasik, A., Tait, K. & Tammaru, T. 2021. Why do males emerge before females? Sexual size dimorphism drives sexual bimaturism in insects. *Biological Reviews* 96: 2461–2475.
- Tripp, K. E., Kroen, W. K., Peet, M. M. & Willits, D. H. 1992. Fewer whiteflies found on CO₂-enriched greenhouse tomatoes with high C : N ratios. *HortScience* 27:1079-1080.
- Truffault, V., Ristorto, M., Brajeul, E., Vercambre, G. & Gautier, H. 2019. To stop nitrogen overdose in soilless tomato crop: A way to promote fruit quality without affecting fruit yield. *Agronomy* 9, 80. 20 s.
- van Lenteren, J. C. & Noldus, L. P. J. J. 1990. Whitefly-plant relationships: Behavioural and ecological aspects. Teoksessa: Gerling, D. (toim.), *Whiteflies: their Bionomics, Pest Status and Management*. Andover, Hampshire, UK: Intecept Ltd. s. 47–90.

- van Lenteren, J. C., van Roermund, H. J. W. & Sütterlin, S. 1996. Biological control of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) with the parasitoid *Encarsia formosa*: How Does It Work? *Biological Control* 6: 1–10.
- van Lenteren, J. C., van Vianen, A., Hatala-Zsellér, I. & Budai, Cs. 1989. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera, Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera, Aleyrodidae). XXIX. Suitability of two cultivars of sweet pepper, *Capsicum annuum* L., for two different strains of whiteflies. *Journal of Applied Entomology* 108: 113–130.
- van Roermund, H. J. W. & van Lenteren, J. C. 1992. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) XXXIV. Life-history parameters of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* as a function of host plant and temperature. *Wageningen Agricultural University Papers* 92-3. 147 s.
- Vänninen, I. 2021. Jaustra-hanke kehittää jauhiaistorjuntaa kokonaisvaltaisesti ÖSP:n ja Luken yhteistyönä. *Kasvinsuojelulehti* 54: 7–10.
- Växtkraft. 2022. Jaustra-hanke (1/2020–3/2023). <https://vakra.fi/projektit/jaustra/> Österbottens svenska producentförbund r.f. Viitattu 18.4.2022.
- Xie, M., Wan., F.-H., Chen, Y.-H. & Wu, G. 2011. Effects of temperature on the growth and reproduction characteristics of *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Applied Entomology*. 135: 252–257.

Johtokyky lannoitusresepteissä

Lannoitusreseptien mukaiset lannoiteliuoksen johtokykyluvut (mS/cm), joiden perusteella lannoiteliuosten laimennus tehtiin eri typpitasoille (N1-N4) kokeen eri lannoitusvaiheissa.

Typpitaso	Alkulannoitus (mS/cm)	Siirtymävaihe (mS/cm)	Lopullinen lannoitus (mS/cm)
N1	3,5	2,7-3,6	2,5
N2	3,5	2,8-3,6	2,4
N3	4,0	3,4-3,6	2,8-3,2
N4	4,0	3,3-3,6	2,8-3,2

Kokeessa käytetyt lannoitteet:

Viljelmäkohtainen Superex Schetelig Strong 3, eränumero SC3-145, 2020 (Kekkilä Professional, Vantaa, Suomi)

		g/kg
Vesiliukoinen fosfori (P)	11,4 %	114
Vesiliukoinen kalium (K)	20,5 %	205
Magnesium (Mg)	5,0 %	50
Rikki (S)	9,6 %	96
		mg/kg
Boori (B)	0,060 %	600
Kupari (Cu), EDTA-kelaatti	0,025 %	250
Rauta (Fe), DTPA-kelaatti	0,400 %	4000
Mangaani (Mn), EDTA-kelaatti	0,200 %	3000
Molybdeeni (mo)	0,010 %	100
Sinkki (Zn), EDTA-kelaatti	0,055 %	550

Kalkkisalpietari: Haifa Cal GG (Haifa Group, Haifa, Israel) / YaraTera Calcinit (Yara, Oslo, Norja)

Kaliumnitraatti: Haifa Multi-K GG (Haifa Group, Haifa, Israel)

Kalsiumkloridi: CC food Calcium chloride flakes 77 % CaCl₂ E509 (Tetra Chemicals Europe, Kokkola, Suomi)

Magnesiumnitraatti: YaraTera Krista Mag (Yara, Oslo, Norja)

Magnesiumsulfaatti: Nova Mg-S (ICL Group Ltd. Tek Aviv, Israel)

Lisäksi typpitason N1 lopullisessa lannoituksessa käytettiin kaliumsulfaattia, jota ei ollut muilla typpitasoilla eikä muissa lannoitusvaiheissa. Lannoite otettiin Luken yhteisestä lannoitevarastosta, mutta sen valmistajasta tai tuotenimikkeestä ei ollut tarkempia tietoja.

Liite 2: Klipsihäkkin valmistus

Klipsihäkit valmistettiin Timo Oksasen (Itä-Suomen yliopisto, ympäristö- ja biotieteiden laitos) ohjeistuksen pohjalta. Alkuperäisessä ohjeessa ”klipsi” tehtiin rautalangasta, mutta rautalangan käsittely oli hankalaa, ja klipsiä oli vaikea saada tarpeeksi jäykäksi, joten se päädyttiin vaihtamaan alumiiniseen 4,6 cm pitkään hiusklipsiin (2-jakoinen pieni hiusklipsi, Comair Germany, Viersen, Saksa).

Häkkeinä käytettiin 1,5 ml Eppendorf-putkia (Eppendorf, Hampuri, Saksa), halkaisija 1 cm, joista sahattiin kärki pois rautasahalla (A). Kansi leikattiin pois, ja kärjen tilalle liimattiin tiheää harsoa kaksikomponenttisella liimalla (Loctite Super Glue All Plastics, Henkel Corporation, Stamford, Connecticut, Yhdysvallat), koska tavallinen pikaliima ei pysynyt kiinni Eppendorf-putkissa (B). Liiman annettiin kuivua vuorokauden ajan.

Hiusklipsistä katkasiin ja taivutettiin toinen puoli 90 asteen kulmaan. Joustaa löysätettiin hieman, ettei klipsi puristaisi lehteä liian kovaa ja aiheuttaisi siihen vaurioita. Häkkiosa kiinnitettiin klipsiin kumisen o-renkaan kanssa (C). Vastapuolelle liimattiin (Finbullet Super Glue, Toolnet Oy, Helsinki, Suomi) pehmusteeksi noin 2 mm paksusta vaahtomuovista tehtyä pyöreää pehmike (D).

