Hyönteispölytyksen vaikutus värimorsingon (*Isatis tinctoria*) siementuottoon ja siementen laatuun

Kimmo Kaakinen

Pro gradu -tutkielma

Turun yliopisto
Biologian laitos

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

TURUN YLIOPISTO
Biologian laitos
Kaakinen, Kimmo: Hyönteispölytyksen vaikutus värimorsingon (*Isatis tinctoria*) siementuottoon ja siementen laatuun
Pro gradu -tutkielma, 33 s., 3 liitteet
Ekologia ja evoluutiobiologia
Toukokuu 2021

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

Värimorsinko (*Isatis tinctoria*) on ristikukkainen kaksivuotinen kasvi, jota on viljelty runsaasti sen lehdistä saatavan sinisen väriaineen, indigon, vuoksi. Värimorsingon viljely loppui lähes kokonaan ensin muiden värikasvien syrjäyttäessä sen ja lopulta synteettisten väriaineiden kehittyessä. Viime vuosina kiinnostus luonnonväriaineisiin ja ymmärrys synteettisten väriaineiden haitallisuudesta on taas kasvattanut kiinnostusta värimorsinkoa ja muita kasveja kohtaan, joista luonnonväriaineita saadaan. Värimorsingon tiedetään vaativan ristipölytyksen kohtalaisen sadon saamiseksi, mutta hyönteispölytyksen merkityksestä siemensadon määrään ja laatuun ei ole tietoa.

Tutkielmassani selvitin pölyttäjähyönteisten vaikutusta värimorsingon siemensadon määrään ja laatuun pölytyshäkkikokeilla. Pölytyshäkkikokeessa oli neljä käsittelyä, jotka olivat vapaapölytteinen häkitön (avoin käsittely), häkillinen (suljettu käsittely), häkillinen mehiläispesällinen (pakotettu käsittely) sekä vapaapölytteinen, avoin häkillinen käsittely (kontrollikäsittely). Lisäksi tutkielmassani selvitin tutkimusalueen hyönteispölyttäjälajistoa linjalaskennoilla ja suoritin pölyttäjätarkkailuja selvittääkseni mitkä hyönteiset vierailevat värimorsingolla.

Pölytyshäkkikokeissa suurimman siemensadon tuotti avoin käsittely, joka erosi tilastollisesti merkitsevästi muista käsittelyistä. Seuraavaksi suurimmat siemensadot tuottivat kontrolli ja pakotettu käsittely. Pienin siemensato saatiin suljetusta käsittelystä. Siementen painoissa ja itävyydessä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa käsittelyiden välillä, mutta suljetussa käsittelyssä siemen oli jäänyt kehittymättä lidun sisälle muita käsittelyjä useammin. Pölyttäjätarkkailussa todettiin, että värimorsingon kukilla ahkerimmin vierailevat hyönteiset ovat kukkakärpäset ja tarhamehiläiset.

Tutkimukseni perusteella värimorsinko tuottaa suuremman siemensadon hyönteispölytyksen alaisena. Koska tarhamehiläisten huomattiin muodostavan viidennes värimorsingon kukilla vierailevista hyönteisistä, mehiläistarhaajien tarjoamista pölytyspalveluista voidaan katsoa olevan merkittävä hyöty värimorsingon viljelyksessä.

Avainsanat: värimorsinko, *Isatis tinctoria,* tarhamehiläinen*,* hyönteispölytys, hyönteispölyttäjä

Sisällys

1. Johdanto 1
   1.1. Värimorsinko ja indigo 1
   1.2. Pölytys 2
   1.3. Pölyttäjähyönteiset 4
      1.3.1. Tarhamehiläiset 5
      1.3.2. Muut pölyttäjähyönteiset 7
   1.4. Tutkimuksen tavoitteet 8
2. Aineisto ja menetelmät 10
   2.1. Pölytyshäkkikoe 10
   2.2. Linjalaskennat 13
   2.3. Pölyttäjätarkkailu 15
   2.4. Säätiedot 15
   2.5. Värimorsingon litujen kerääminen ja punnitseminen 16
   2.6. Idätyskokeet 17
   2.7. Tilastolliset menetelmät 17
3. Tulokset 18
   3.1. Pölytyshäkkikoe 18
   3.2. Kaikki pellot 20
   3.3. Linjalaskennat 21
   3.4. Pölyttäjätarkkailu 23
4. Pohdinta 23
   4.1. Hyönteispölytyksen vaikutus värimorsingon siemensatoon 23
   4.2. Tutkimusalueen pölyttäjälajisto 27
   4.3. Värimorsingolla vierailevat pölyttäjähyönteiset 28
5. Johtopäätökset 29
6. Kiitokset: 29
7. Lähdeluettelo: 30
8. Liitteet 34

1. Johdanto

1.1. Värimorsinko ja indigo

Värimorsinko (*Isatis tinctoria*), eli morsinko, on kaksivuotinen ristikukkaiskasvi (Brassicaceae), joka kasvattaa ensimmäisenä vuotenaan lehdet ja toisena kukinnon. Värimorsinko on 40-100 cm korkea, ja Suomessa kesä-heinäkuussa kukkiessaan se kasvattaa runsaasti haarovan keltaisen kukinnon. Värimorsingon kukka on 0,5 cm leveä ja siinä on neljä 3-4 mm pitkää terälehteä. Värimorsingon siemenet kehittyvät 12-18 mm pitkien riippuvien litujen sisälle (Luontoportti 2021b). Tavallisesti yhden lidun sisälle kehittyy yksi siemen. Värimorsingon kukat ovat kaksineuvoisia (Free 1970; Suomen lajitietokeskus 2019c) eli niiden heteet ja emit ovat samassa kukassa. Värimorsinko vaatii ristipölytyksen kohtalaisen sadon saamiseksi (Spataro & Negri 2008b).

Värimorsingon alkuperän on vahvistettu olevan Keski-Aasiassa, josta se on levinnyt viljelyksen seurauksena Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan (Spataro & Negri 2008a). Värimorsinko tuottaa suuren määrän siemeniä ja leviää hyvillä kasvupaikoilla nopeasti. Muun muassa Pohjois-Amerikassa värimorsinko on levinnyt laajalle ja se on luokiteltu haitalliseksi rikkakasviksi useissa osavaltioissa läntisessä Yhdysvalloissa, jossa se kilpailee aggressiivisesti paikallisten lajien kanssa (Kropp ym. 2002). Myös Euroopassa värimorsinko on nykyään laajalle levinnyt rikkakasvi (Spataro & Negri 2008a). Värimorsinko on levinnyt myös Suomeen luonnonvaraiseksi viljelyn seurauksena, mutta ajankohdasta ei ole varmuutta. Värimorsinko onkin Suomessa niin sanottu muinaistulokas. Suomessa värimorsinko on luonnonvaraisena kuitenkin harvinainen, mutta sitä esiintyy Suomenlahden, Saaristomeren ja Pohjanlahden rannikolla (Suomen lajitietokeskus 2019c).

Värimorsinkoa viljellään lauhkealla vyöhykkeellä sen lehdistä uutettavan sinisen väriaineen, indigon takia, jota käytetään tekstiilien värjäyksessä (Hamburger 2002). Väriaineen lisäksi värimorsinkoa on viljelty myös lääkekasvina parantamaan esimerkiksi haavoja, sienitauteja ja pernaa (Hannusas & Raitio 1997; Hamburger 2002). Värimorsinkoa viljeltiin rautakaudelta asti runsaasti Euroopassa ja se oli pitkään tärkein ja taloudellisesti merkittävin indigonsinistä tuottava värikasvi (Hannusas & Raitio 1997). Luonnon indigoa saadaan valmistettua eri kasvien sekundäärisen aineenvaihdunnan tuottamista yhdisteistä, jotka sisältävät indoksyylirakenteen (Siitonen 2010). Näitä kasveja ovat trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla indigokasvien (*Indigofera)* suvun kasvit, esimerkiksi väri-indigo (*Indigofera tinctoria*) ja lauhkealla vyöhykkeellä esimerkiksi väritatar (*Polygonum tinctorum)* ja värimorsinko (*Isatis tinctoria)* (Gilbert & Cooke 2001).

Värimorsingon lehtien sisältämät indigon esiasteina toimivat yhdisteet ovat isatan-B (indoksyyli-5-ketoglukonaatti), indikaani (indoksyyli-β-D-glukosidi) ja nuorista lehdistä saatava isatan-C (Maugard ym. 2001). Indigo-väri valmistetaan hydrolysoimalla esiastemolekyyli indikaani emäksellä tai β-glukositaasientsyymillä, jolloin indoksyyliryhmän sitova sidos katkeaa. Sen seurauksena on erittäin reaktiivinen indoksyylimolekyyli (Siitonen 2010). Perinteisessä morsinkovärjäyksessä tähän on käytetty virtsaa, joka toimii indikaanin pelkistäjänä ja mädäntyessään vapauttaa ammoniakkia, joka toimii emäksenä (Hannusas & Raitio 1997). Hapen vaikutuksesta indoksyylimolekyylit muodostavat negatiivisesti varatun leuko-indigoionin, joka hapettuu lopulta indigoksi (Siitonen 2010).

1500-luvulla värimorsingon kilpailijaksi Eurooppaan saapui paremmin värjäävä ja edullisempi kiinalainen indigokasvi (*Isatis indigotica*) (Luontoportti 2021b). Lopullisesti trooppiset indigokasvit syrjäyttivät 1600-luvulla värimorsingon (Siitonen 2010). 1900-luvun vaihteeseen asti kaikki värjäykseen käytettävä väriaine saatiin luonnosta, mutta sen jälkeen suurin osa väriaineista on valmistettu synteettisesti (Gilbert & Cooke 2001).

Teollisessa värjäykseen tarvittavan suuren veden määrän takia tekstiiliteollisuus on nykyään yksi suurimpia veden saastuttajia ja synteettisten väriaineiden pelätään aiheuttavan suuria ympäristöongelmia ja vakavia terveysriskejä (Forgacs ym. 2004; Kalyani ym. 2009). Teollisesti valmistetut synteettiset väriaineet, esimerkiksi aniliini, joka on myrkyllinen ja vesistöille erittäin haitallinen aromaattinen yhdiste (Työterveyslaitos 2020), tulevat sivutuotteena fossiilisista polttoaineista (Gilbert & Cooke 2001). Viime vuosina kiinnostus luonnonindigoon on taas kasvanut ympäristötietoisuuden lisääntyessä sekä fossiilisten polttoaineiden vähentyessä ja niiden hinnan noustessa. Nykyään muutamat yritykset Euroopassa viljelevät kaupallisesti värimorsinkoa indigon tuottamiseen, Suomessa värimorsinkoa viljelee Natural Indigo Finland Oy.

1.2. Pölytys

Pölytys on siemenkasvien suvullisen lisääntymisen kannalta välttämätön tapahtuma. Siemenkasveilla siitepöly kulkeutuu heteen ponsilta emin luotille. Pölytys tapahtuu usein eri kasviyksilöiden välillä, mutta joidenkin siemenkasvien tiedetään pystyvän myös itsepölytykseen (Wang ym. 2004).

Siemenkasveilla pölytys tapahtuu yleensä joko tuulen (anemophilia) tai eläinten, yleensä hyönteisten, välityksellä. Kaikilla paljassiemenisillä kasveilla pölytys tapahtuu tuulen välityksellä, mutta noin 90 % koppisiemenisistä kasveista on eläinpölytteisiä (Linder 1998). Hallitustenvälisen luonnon monimuotoisuus- ja ekosysteemipalvelupaneeli IPBES:n (2016)

julkaiseman pölyttäjäraportin mukaan yli 75 % maailman viljelykasvilajeista ja 35 % maailmanlaajuisesta viljelysadosta hyötyy ainakin osittain hyönteispölytyksestä. Maailmanlaajuisesti hyönteispölytyksen arvoksi on laskettu vuosittain 235-577 miljardia Yhdysvaltain dollaria (IPBES 2016).

Kaikki maailman pölytyksestä hyötyvät viljelykasvit eivät ole kuitenkaan täysin pölytyksestä riippuvaisia. Klein ym. (2007) on esittänyt seuraavan arvion hyönteispölytyksen vaikutuksesta maailman yleisempiin viljelyskasveihin: hyönteispölyttäjien kadotessa 13 % viljelyskasveista menettäisi yli 90 % sadostaan, 30 % viljelykasveista menettäisi sadostaan 90-40 % ja 27 % viljelykasveista menettäisi sadostaan 40-10 %. Vaikka maailman viljelyskasvilajeista 75 % hyötyy ainakin osittain pölytyksestä (IPBES 2016), yli 60 % maailmanlaajuisesta sadosta tulee kasveista, jotka eivät vaadi pölytystä tuottaakseen satoa (Klein ym. 2007). Tämä johtuu siitä, että useat tärkeimmistä viljelykasveista, kuten maissi, riisi, vehnä ja peruna, eivät vaadi hyönteispölytystä lisääntymiseen, vaan ovat joko tuuli- tai itsepölytteisiä. Vaikka nämä viljelykasvit ovatkin erittäin tärkeitä ihmisten energiansaannin kannalta, valtaosa lipideistä ja tärkeimmistä hivenaineista ovat peräisin eläinpölytteisistä kasveista (Eilers ym. 2011).

Ekosysteemipalvelut ovat luonnon tarjoamia palveluita, jotka tukevat ihmisten hyvinvointia. Ekosysteemipalvelut voidaan jakaa kolmeen luokkaan, jotka ovat tuotanto-, säätely- ja kulttuuripalvelut. Pölytys on ekosysteemipalvelu ja kuuluu säätelypalveluiden luokkaan (Luonnonvarakeskus 2016). Koska monet viljelykasvit hyötyvät pölytyksestä, pölyttäjien määrää on alettu lisätä halutulla alueella tuomalla sinne pölyttäjähyönteisiä, usein tarhamehiläisiä (*Apis mellifera*). Pölytyspalvelulla tarkoitetaan mehiläistarhaajan ja maanviljelijän välistä yhteistyötä, jossa mehiläistarhaaja tuo tarhamehiläisiä maanviljelijän pyynnöstä halutulle alueelle pölyttämään viljelykasveja (Suomen Mehiläishoitajain liitto 2021b). Tämä toimii usein siten, että mehiläistarhaaja joko tuo mehiläispesän viljelyalueelle tai tarhaaja perustaa viljelysten lähistölle pysyvän tarhapaikan. Tarhamehiläisten lisäksi myös kimalaisia on tarjolla pölytykseen, mutta niitä käytetään lähinnä kasvihuoneissa. Viljelijä toisinaan maksaa mehiläistarhaajalle pesistä. Aiemmin Suomen Mehiläishoitajain Liiton suositteli korvaukseksi siirrettävän mehiläispesän vuokrasta 60-150€ viljelykasvista riippuen. Mehiläistarhaaja voi pyytää korvausta myös muista työhön liittyvistä kuluista ja usein tarhaajan sovitaan saavan pitää mehiläisten tuottama hunaja (Peltotalo 2010). Pölytyspalveluissa tarhaaja vastaa normaaleista mehiläistarhaukseen liittyvistä riskeistä, kuten parveilusta ja taudeista, mutta ei ole vastuussa, mikäli pölytys epäonnistuu esimerkiksi kukkimisen ajalle osuvasta huonosta säästä tai viljelysten lähistöllä kasvavasta kiinnostavammasta kukkakasvista johtuen (Suomen mehiläishoitajain liitto 2021b). Luonnonvarakeskus on arvioinut pölytyksen arvoksi Suomessa 18 miljoonaa euroa vuosittain (Luonnonvarakeskus 2016) ja Suomen Mehiläishoitajain liitto on arvioinut pölytyksen vuosittaiseksi arvoksi jopa 60 miljoonaa euroa (Suomen Mehiläishoitajain liitto 2021a). Vaikka pölyttäjähyönteisten määrää saadaan keinotekoisesti lisättyä pölytyspalveluilla tuomalla

tarhattuja mehiläisiä alueelle runsaasti, pölytys on tehokkaampaa, kun myös muita pölyttäjähyönteislajeja esiintyy (IPBES 2016).

Hyönteispölytys ei ole tärkeää pelkästään viljelyskasveille, vaan se on myös luonnon monimuotoisuudelle välttämätöntä. Kun IPBES:än raportin mukaan noin 75 prosenttia viljelyskasveista hyötyy hyönteispölytyksestä, arvioidaan hyönteispölytyksen olevan tärkeää noin 90 prosentille luonnonvaraisista kukkakasveista. Etenkin maaekosysteemeille hyönteispölytys on erittäin tärkeää sen mahdollistaessa ravintoverkkoja kasvien tarjotessa ravintoa ja suojaa valtavalle lajimäärälle (IPBES 2016).

Hyönteispölytyksessä hyönteinen siirtää siitepölyä kukan heteeltä kukan emille. Valtaosa hyönteispölyttäjistä vierailevat kukilla syömässä joko mettä tai siitepölyä, tai keräämässä näitä ravinnoksi toukilleen. Hyönteiset voivat etsiä kukilta myös suojaa tai parittelupaikkaa. Hyönteisten vieraillessa kukilla, niihin tarttuu siitepölyä ja ne kuljettavat sitä toisille kukille. Hyönteisestä tekee hyvän pölyttäjän sen fyysiset tekijät ja käyttäytyminen. Karvaiset, kukilla tarpeeksi pitkän ajan viettävät kukkauskolliset hyönteiset ovat parempia pölyttäjiä kuin sileäpinteiset, samalla lentokerralla useilla eri kasvilajeilla nopeasti vierailevat hyönteiset (Willmer 2011). Tarhamehiläisten fyysiset tekijät, kuten karvainen pinta, tarpeeksi pitkä kieli, kyky oppia ja kommunikoida sekä yhdellä lentokerralla vierailu saman lajin kukilla tekevät niistä erityisen hyviä pölyttäjiä (Free 1970). Toisaalta tarhamehiläisiä pidetään myös siitepölyn tuhlaajina, koska ne keräävät siitepölyä siitepölyvasuihinsa ruokkiakseen pesän toukkia (Willmer 2011).

1.3. Pölyttäjähyönteiset

Suurin osa maailman hyönteispölyttäjistä ovat villejä lajeja. Pölyttäjähyönteisiin kuuluu muuan muassa kärpäsiä, perhosia, kuoriaisia, ripsiäisiä ja yli 20 000 mehiläislajia, joista muutamia on tarhattu laajasti. Sekä villit että tarhatut pölyttäjät ovat tärkeitä pölytyksessä, sillä monipuolinen pölyttäjälajisto tarjoaa usein tehokkaamman ja etenkin stabiilimman pölytyksen kuin mikään yksittäinen laji (IPBES 2016).

Pölyttäjähyönteiset ovat vaarantuneet maailmanlaajuisesti ja niiden määrien laskulla voi olla vakavia vaikutuksia talouteen ja ympäristöön (Vanbergen 2013). Pölyttäjien vähenemiseen ja katoamiseen on monia syitä. Esimerkiksi maatalouden tehostumisen ja sitä seuraavan elinympäristön muutoksen (Williams & Osborne 2009) ja lisääntyneiden hyönteismyrkkyjen, kuten neonikotinoidien, käytön (Cresswell 2011) on huomattu olevan haitallista pölyttäjille. Myös vieraslajien, sekä eläinten että kasvien, on huomattu voivan häiritä alueiden luonnollisia

pölyttäjähyönteislajeja (Venbergen 2013). Eräs tunnettu pölyttäjiä häiritsevä vieraslaji on 1900-luvun alkupuolella intianmehiläisistä (*Apis cerena*) tarhamehiläisiin levinnyt varroapunkki (*Varroa destructor*), joka aiheuttaa hoitamattomana tarhamehiläisyhteiskunnan romahtamisen (Rosenkranz ym. 2010). Myös käynnissä olevalla ilmastonmuutoksella on suuri negatiivinen vaikutus moniin pölyttäjiin, etenkin niihin, jotka elävät oman sopeutumisalueensa reuna-alueella (Williams & Osborne 2009). Suorien uhkien lisäksi ilmastonmuutoksessa vaarantuneiden muiden organismien, lähinnä kasvien ja eläinten häviäminen voi vaikeuttaa pölyttäjähyönteisten elämää, kun mutualistiset vuorovaikutukset häviävät (Memmott ym. 2007).

Suomessa tärkeimmät pölyttäjähyönteiset ovat mesipistiäiset eli tarhamehiläiset, kimalaiset ja erakkomehiläiset (Suomen mehiläishoitajain liitto 2021a). Alla on esitelty tarkemmin Suomessa tärkeitä pölyttäjähyönteislajeja ja -ryhmiä.

1.3.1. Tarhamehiläiset

Suomessa tarhattava mehiläislaji on nimeltään tarhamehiläinen tai kesymehiläinen, *Apis mellifera*. Tarhamehiläiset ovat ihmisen kotieläimeksi jalostettu hyönteislaji, jota tarhataan lähinnä niistä saatavan hunajan ja mehiläisvahan takia. Mehiläisiä tarhataan myös niiden suorittaman pölytyksen takia. Tarhamehiläiset eivät ole Suomessa luonnonvarainen laji, vaan ne on tuotu 1700-luvulla Suomeen Ruotsista ja Baltian maista. Suomessa tarhataan useita mehiläisrotuja, joilla on erilaisia ominaisuuksia, kuten kielen pituus, taudinkestävyys ja kevätkehityksen nopeus. Erilaiset ominaisuudet ovat tärkeitä tarhapaikan valinnassa, koska eri mehiläisrodut pärjäävät eri ympäristöissä eri tavoin ja eri rodut soveltuvat eri tavoin tiettyjen kasvien pölytykseen. Suomessa tarhatut mehiläisrodut ovat italialaiset, krainilaiset, buckfast-mehiläiset ja pohjolan eli mustat mehiläiset (Suomen mehiläishoitajain liitto 2019).

Tarhamehiläiset elävät yhteiskunnissa, johon kuuluu yksi naaraspuolinen lisääntymiskykyinen kuningatar, naaraspuoliset lisääntymiskyvyttömät työmehiläiset ja koiraspuoliset kuhnurit (Free 1970). Kuningatar on geneettisesti täysin työmehiläisten kaltainen, mutta kehittyy kuningattareksi saatuaan toukkana ruuaksi muita toukkia enemmän proteiinipitoista emomaitoa (Weaver 1955). Kuningattaren tehtävä on käydä kerran syntyessään ”häälennolla” parittelemassa kuhnureiden kanssa ja palata pesään munimaan munia. Kuningatar varastoi parittelusta saamansa sperman ja voi sen avulla munia vuosia (Kuurma & Pakarinen 1961). Lisääntymisen lisäksi kuningatar tuottaa useita erilaisia feromoneja, kemiallisia viestiaineita, jotka vaikuttavat työmehiläisten käyttäytymiseen ja fysiologiaan (Beggs ym. 2007).

Työmehiläiset ovat työläiskennoista syntyneitä mehiläisiä, jotka tekevät kaiken työn mehiläisyhteiskunnassa. Työläisten työnjako perustuu niiden ikään. Nuorimmat pysyvät pesän sisällä puhdistamassa kennoja ja huolehtimassa hautomislämmöstä. Seuraavaksi nuorimmat syöttävät toukkia ja seuraavaksi nuorimmat valmistavat mehiläisvahaa vaharauhasillaan, rakentavat vahakakkuja ja kuljettavat ravintoa pesän sisällä kuningattarelle ja kuhnureille. Toisiksi vanhimmat työmehiläiset vartioivat pesän lentoaukkoa. Vanhimmat mehiläiset etsivät ja tuovat siitepölyä ja mettä pesän ulkopuolelta (Kuurma & Pakarinen 1961). Kesällä työmehiläisten elinikä on 4-8 viikkoa, mutta talvehtivat työmehiläiset elävät useita kuukausia (Free 1970; Rueppell ym. 2007).

Kuhnurit ovat kuhnurikennoista hedelmöittymättömistä munista syntyneitä urospuolisia mehiläisiä, joiden ainoa tehtävä on hedelmöittää kuningatar. Kuhnurit elävät vain kesän, eivätkä ne osallistu pesän työntekoon (Free 1970).

Tarhamehiläisten elintavat ja käyttäytyminen tekevät niistä hyviä pölyttäjiä. Kun muut pölyttäjähyönteiset talvehtivat yksinään, tarhamehiläiset talvehtivat suurissa yhteiskunnissa, jolloin niitä voi olla jo varhain keväällä 20 000 yksilöä. Yhteiskunnan talvehtimisen vuoksi tarhamehiläiset voivat jo aikaisin keväällä pölyttää varhain kukkivia kasveja. Tarhamehiläisten yhteiskunnat kasvavat myös varsin nopeasti ja pesä voi kasvaa yli 70000 yksilön kokoiseksi. Tarhamehiläisten työläiset voivat tehdä päivässä seitsemän keruumatkaa, joka tarkoittaa parhaimmillaan 700 kukkakäyntiä. Yhteen kasvilajiin keskittyvä vahva tarhamehiläisyhteiskunta voi arvioiden mukaan pölyttää päivän aikana parhaimmillaan jopa miljoona kukkaa (Peltotalo 2010). Erinomaisen kommunikointikykynsä ansiosta tarhamehiläiset toimivat organisoidusti, jonka takia myös niiden keruuala voi olla erittäin suuri (Willmer 2011). Tarhamehiläisiä pidetään ravinnon suhteen supergeneralisteina, koska ne hakea siitepölyä ja mettä lähes kaikista kukkakasveista (Willmer 2011). Vaikka tarhamehiläiset ovat generalisteja, ne pysyttelevät usein yhden keruumatkan aikana samassa kasvilajissa, joka lisää niiden arvoa pölyttäjänä. Käyttäytymisen lisäksi myös tarhamehiläisten fyysiset ominaisuudet, kuten karvainen pinta ja tarpeeksi pitkä kieli, tekevät niistä tehokkaita pölyttäjiä (Free 1970).

Tarhamehiläispesien määrä on kasvanut viimeisten viidenkymmenen vuoden aikana maailmanlaajuisesti, mutta joissain Euroopan ja Pohjois-Amerikan maissa on havaittu tarhattujen mehiläiskantojen kausittaista vähenemistä, etenkin varroapunkin leviämisen jälkeen (IPBES 2016). Varroapunkki on mehiläisten ulkoloinen, joka levisi tarhamehiläisiin 1900-luvun alkupuolella aasialaisista intianmehiläisistä. Hoitamattomana varroapunkki aiheuttaa mehiläisyhteiskunnan romahtamisen muutaman vuoden kuluessa ja se leviää helposti pesistä toiseen. Varroapunkki saadaan hävitettyä kemikaalihoidolla, mutta se on tarhaajalle kallista ja käytetyistä kemikaaleista voi jäädä jäännöksiä hunajaan ja mehiläisvahaan (Rosenkranz ym. 2010).

Vuosina 2006-2008 Yhdysvalloissa raportoitiin laajoja, kokonaisia tarhamehiläisyhteiskuntia käsittäviä joukkokuolemia, joka nimettiin colony collapse disorderiksi eli CCD:ksi (Engelsdorp ym. 2008). CCDssä aikuisten työmehiläisten huomattiin jättäneen pesät, jolloin yhteiskunnat kuolivat nopeasti. Vuonna 2006 Yhdysvalloissa alkanut CCD ei kuitenkaan ole historian ainoa mehiläisten laaja joukkokuolema, vaan samanlaisia tapauksia löytyy myös lähihistoriasta eri mantereilta (Engelsdorp ym. 2009). Muuan muussa tuholaismyrkkyinä käytettyjä neonikotinoideja on syytetty CCD:sta, mutta täyttä varmuutta asiasta ei vielä ole (IPBES 2016).

1.3.2. Muut pölyttäjähyönteiset

Kimalaiset (*Bombus*) ovat aitomehiläisten heimoon kuuluva mesipistiäisten, eli mehiläisten, suku. Kuten tarhamehiläiset, kimalaisetkin loiskimalaisia lukuun ottamatta muodostavat aitososiaalisia yhteiskuntia (Suomen lajitietokeskus 2019a-b). Kimalaislajeja on Suomessa tavattu kaikkiaan 38. Kimalaisyhteiskunnissa vain kuningatar talvehtii (Parkkinen ym. 2018). Kimalaiset lentävät hieman tarhamehiläisiä alhaisimmissa lämpötiloissa ja ne ovat tarhamehiläisiä hieman suuremman kokoisia. Kimalaiset voivat tehdä päivässä parhaimmillaan kymmenen keruumatkaa, joka tarkoittaa parhaimmillaan 4000 kukkakäyntiä päivän aikana, kun tarhamehiläiset pääsevät vain 700 kukkakäyntiin. Suuremman koon ja karvaisuutensa vuoksi yksittäisen kimalaisen pölytysteho on hieman tarhamehiläistä suurempi; kaksi kimalaista vastaa pölytysteholtaan viittä tarhamehiläistä. Kimalaisyhteiskunnat ovat kuitenkin huomattavasti tarhamehiläisten yhteiskuntia pienempiä, sillä yhdessä kimalaisyhteiskunnassa elää vain 50-150 aktiivista pölyttäjää. Kimalaisten lentomatka on myös tarhamehiläisiä lyhyempi (Peltotalo 2010). Vaikka kimalaisyksilöt ovat melko kukkauskollisia, niillä ei ole tarhamehiläisille tyypillistä viestintäjärjestelmää, joten saman yhteiskunnan kimalaiset voivat vierailla eri kasvin kukilla (Parkkinen ym. 2018). Kimalaiset ovat kuitenkin tärkeitä pölyttäjiä esimerkiksi metsämarjoille kuten mustikalle ja puolukalle, puutarhan hedelmäpuille, mauste- ja yrttikasveille, härkäpavulle ja kasvihuonekasveille (Parkkinen ym. 2018). Pölytyspalveluissa kimalaisia käytetäänkin lähinnä kasvihuoneissa (Peltotalo 2010).

Erakkomehiläislajeja on tavattu Suomessa noin 190 (Suomen mehiläishoitajain liitto 2021a). Ne elävät joko yksin tai pienissä yhteiskunnissa, mutta eivät ole aitososiaalisia kuten tarhamehiläiset ja kimalaiset. Erakkomehiläiset eivät tuota hunajaa (Suomen mehiläishoitajain liitto 2021a). Erakkomehiläiset käsittävät valtaosan maapallon mehiläislajeista. Niitä on tutkittu melko vähän, jonka takia ne yleensä yhdistetään samaan ryhmään, vaikka ne eroavat toisistaan elintavoiltaan ja kooltaan. Euroopassa elävien erakkomehiläisten kielet ovat yleensä lyhyitä tai keskipitkiä (Willmer 2011).

Kaksisiipiset (Diptera) ovat mesipistiäisten jälkeen toiseksi tärkein pölyttäjähyönteisten ryhmä (Larson ym. 2001). Kukkakärpäset (*Syrphidae*) kuuluvat kaksisiipisten lahkoon ja ovat lahkon merkittävämpiä pölyttäjiä (Larson ym. 2001). Ne ovat erityisen tärkeitä pölyttäjiä pohjoisella lauhkealla vyöhykkeellä (Willmer 2011), kuten Suomessa. Kukkakärpäsiä on paljon eri lajeja, jotka ovat eri kokoisia ja värisiä (Haarto ja Kerppola 2007). Usein ne ovat joko mustakeltaisia tai mustapunaisia ja muistuttavat ulkonäöltään ampiaisia. Kukkakärpästen kielen pituus vaihtelee, mutta usein kielet ovat lyhyitä tai keskipitkiä (Willmer 2011). Kukkakärpäset etsivät kukista ruuaksi mettä, siitepölyä tai molempia (Haarto & Kerppola 2007). Suurempikokoiset kukkakärpäslajit syövät pääasiassa mettä, josta saavat nopeammin hyödynnettäviä sokereita ja hyödyntävät siitepölyä lähinnä proteiinin saamiseksi. Pienet ja keskisuuret kukkakärpäslajit syövät lähes pelkästään siitepölyä, josta ne saavat kaiken tarvitsemansa energian ja ravintoaineet. Naaraskukkakärpäset tarvitsevat enemmän siitepölyä ravinnoksi kuin koiraat, koska niiden munien kehittymiseksi tarvitaan runsaasti siitepölystä saatavia ravintoaineita, kuten lipidejä (Haarto & Kerppola 2007). Ravinnon lisäksi kukkakärpäset hakevat kukista suojaa, parittelu- ja munimispaikkoja (Larson ym. 2001). Kukkakärpästen karvoihin tarttuu siitepölyä niiden laskeutuessa kukille (Holloway 1976). Kukkakärpäset ovat myös melko kukkauskollisia (Hickman et al. 1995), mikä tekee niistä erinomaisia pölyttäjiä (Willmer 2011). Myös kukkakärpästen aikainen lentoaika varhain keväällä nostaa niiden asemaa pölyttäjinä (Haarto & Kerppola 2007). Niiden vähäinen karvoitus kuitenkin vähentää yksittäisten yksilöiden pölytystehoa (Peltotalo 2010). Jotkut kukkakärpäslajit myös suosivat lähinnä tuulipölytteisiä kasveja (Haarto & Kerppola 2007), jolloin kukkakärpästen kukkakäynneillä ei ole pölytyksen kannalta juuri merkitystä.

Perhosten (*Lepidoptera*) lahkoon oletetaan kuuluvan noin 10 % kaikista hyönteisistä (Willmer 2011). Maailmassa on yhteensä 180 000 tunnettua perhoslajia, Suomessa vakituisesti arvioidaan esiintyvän 2300 lajia (Suomen perhostutkijain seura 2021). Aikuiset perhoset eivät *Heliconius*-sukua lukuun ottamatta syö siitepölyä kasveista (Gilbert 1972), vaan ne imevät kukista mettä pitkällä imukärsällään (Willmer 2011), joka on niille ainoa hiilihydraattien lähde (Reddi & Bai 1984). Kaikilla perhosilla on suomukkaat siivet ja vartalon pinnassa karvoja, joihin siitepöly tarttuu perhosten kukkakäynneillä (Willmer 2011).

1.4. Tutkimuksen tavoitteet

Värimorsingon tiedetään tuottavan kohtalainen sato vain ristipölytyksen alaisena (Spataro & Negri 2008b), mutta hyönteispölytyksen tarpeesta ei ole tietoa. Tutkimukseni tavoitteena oli selvittää, miten hyönteispölytys vaikuttaa värimorsingon siemensadon määrään, laatuun ja

itävyyteen. Lisäksi tutkimuksessani selvitin kenttäkokeen koealueena toimineen värimorsinkopellon ja sen lähialueen pölyttäjähyönteislajistoa, sekä tutkin, mitkä alueen pölyttäjistä ovat kiinnostuneita värimorsingosta.

Tutkimuskysymykseni olivat:

1. Miten hyönteispölytys vaikuttaa värimorsingon siemensadon määrään, laatuun ja itävyyteen?
2. Minkälainen pölyttäjälajisto tutkimusalueella esiintyy?
3. Mitkä pölyttäjähyönteiset vierailevat värimorsingolla?

Hyönteispölytyksen vaikutusta värimorsingon siementuottoon tutkin manipuloidulla pölytyshäkkikokeella, jossa normaalissa, luonnonpölytteisessä tilassa kasvaneiden värimorsinkojen siemeniä verrattiin hyönteispölytykseltä suljettujen ja pelkille tarhamehiläisten pölytykselle pakotettujen värimorsinkojen siemeniin. Lisäksi tutkin hyönteispölytyksen vaikutusta vertailemalla luonnonpölytteisten värimorsinkopeltojen siemeniä ja värimorsinkopeltojen siemeniä, joiden reunalle oli tuotu tarhamehiläispesiä. Koealueen pölyttäjälajistoa tutkin linjalaskennoilla ja värimorsingolla vierailevia pölyttäjiä pölyttäjätarkkailulla.

Tutkimuksen osalta minulla oli kuusi hypoteesia:

1. Hyönteispölyttäjiltä suljetut värimorsingot tuottavat vähemmän ja pienempiä lituja kuin hyönteispölytykselle avoimet tai pelkkien tarhamehiläisten pölytykselle pakotetut värimorsingot. Lisäksi hyönteispölytykseltä suljettujen värimorsinkojen siementen itävyys on huonompi kuin avoimen ja pakotetun käsittelyn siementen.
2. Pelkkien tarhamehiläisten pölyttämät värimorsingot tuottavat vähemmän ja pienempiä lituja, kuin vapaapölytteiset värimorsingot. Myös siementen itävyys on huonompi pelkkien tarhamehiläisten pölytyksen varassa olevilla värimorsingoilla.
3. Vapaapölytteisten värimorsinkojen ja kontrollikäsittelyiden värimorsinkojen litujen määrä, siementen laatu ja itävyys eivät eroa.
4. Värimorsinkopeltojen, joiden läheisyyteen on tuotu mehiläispesiä, litujen määrä ja siementen laatu on parempi, kuin värimorsinkopeltojen, joiden läheisyydessä ei ole mehiläispesiä.
5. Linjalaskennoissa tullaan havaitsemaan useita eri pölyttäjähyönteislajeja ja erilaisten linjojen pölyttäjälajisto poikkeaa toisistaan

6. Värimorsingoilla tavattavissa pölyttäjähyönteisissä korostuvat kukkakärpäset ja mesipistiäiset, kuten tarhamehiläiset, kimalaiset ja erakkomehiläiset.

Tämä tutkimus on osa Suomen Mehiläishoitajain Liiton pölytyskokeiden sarjaa, jossa pyritään vastaamaan tietoaukkoon erikoiskasvien pölytyksestä. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa myös muissa tutkimushankkeissa. Tutkimuksesta saatava tieto on arvokasta ja käyttökelpoista käytännön mehiläistarhauksen kannalta, sillä pölytyspalvelun tarjoaminen on yksi tarhauksen tulonlähde.

2. Aineisto ja menetelmät

Toteutin tutkimukseni kenttäkokeen kesällä 2020 Nivalassa Natural Indigo Finland Oy:n värimorsinkoviljelmillä. Varsinaisen kenttäkokeen tein kesäkuussa ja satonäytteiden keruun elokuun alussa. Tutkimukseni tehtiin yhteensä viidellä värimorsinkopellolla, joissa kaikissa tehtiin linjalaskentoja. Pölytyksen vaikutusta värimorsingon siementuottoon tutkin pölytyshäkkikokeella vain niin kutsutulla pääkoepellolla (63°50’41’’N 24°58’49’’). Pääkoepelto oli noin 1,5 hehtaarin kokoinen peltoalue, jonka reunalle oli tuotu ennen värimorsingon kukinnan alkua tarhamehiläispesä.

2.1. Pölytyshäkkikoe

Hyönteispölytyksen vaikutusta värimorsingon siementuotantoon tutkin manipuloidulla pölytyshäkkikokeella. Samankaltaisella koejärjestelyllä on aiemmin Suomessa tutkittu pölytyksen vaikutusta muuan muassa härkäpavun (Kyllönen 2018) ja tattarin (Toratti 2018) sadon muodostumiseen. Pölytyshäkkikoe käsitti neljä erilaista käsittelyä, jotka olivat:

1. Avoin käsittely, jossa pölyttäjähyönteisten liikettä värimorsingon kukinnoille ja kukinnoilta pois ei estetty mitenkään. Avoin käsittely kuvasi värimorsinkopellon normaalia, vapaapölytteistä tilaa.
2. Suljettu käsittely, jossa kaikkien pölyttäjien pääsy kukinnoille oli estetty pölytyshäkillä. Suljetulla käsittelyllä tarkasteltiin tilannetta, jossa pölyttäjähyönteiset eivät pääse pölyttämään värimorsinkoja, jolloin värimorsingon pölytys on täysin itse- tai tuulipölytyksen varassa.

3. Suljettu mehiläispesällinen käsittely, eli pakotettu käsittely, jossa kukinto oli peitetty pölytyshäkillä ja pölytyshäkin sisälle tuotu pieni, kaksi- tai kolmeosastollinen tarhamehiläispesä ennen värimorsingon kukinnan alkua. Pakotetussa käsittelyssä vain tarhamehiläiset pölyttivät värimorsinkoa ja pölyttäjähyönteisiä oli yksilömäärällisesti paljon tavallista enemmän.
4. Avoin kontrollikäsittely, jossa pölyttäjien liikettä kukinnoille tai kukinnoilta ei rajoitettu, mutta kasvuston ympärille asetettiin avoin pölytyshäkki. Kontrollikäsittelyn tarkoituksena oli tarkastella pelkän häkin, eli varjostuksen ja sateeneston vaikutusta siemensatoon

Kaikki käsittelyt olivat neliömetrin kokoisia alueita. Pölyttäjähyönteisten kulkua estävät tai rajoittavat pölytyshäkit rakennettiin puukehikosta, jonka päälle aseteltiin vettä, tuulta ja auringonvaloa läpäisevä valkoinen polyesterikangas, jonka silmäkoko oli 1 mm x 1 mm (Kuva 1.). Asensin harsot ennen värimorsingon kukintaa niin, ettei tuuli tai sade päässeet niitä liikuttamaan, eivätkä pölyttäjät päässeet maanpinnaltakaan häkkien sisälle tai häkkien sisältä ulos. Pystytin koejärjestelyn ennen värimorsingon kukinnan alkua 4. kesäkuuta ja keräsin sen pois 26. kesäkuuta kukinnan ollessa ohi.

Kuva 1. Suljetun käsittelyn pölytyshäkki

Laitoin mehiläispesällisiin häkkeihin mehiläisiä varten vesiastiat, jotta mehiläiset eivät kuolisi janoon ja vesiastioiden veden pinnalle sirottelin puuhaketta, jotta mehiläiset eivät hukkuisi veteen. Kuuman kesäkuun takia jouduin täyttämään vesiastioita lähes päivittäin, jolloin käsittelyä ympäröivää harsoa jouduttiin raottamaan. Vesiastioiden täytön suoritin lähes aina yöllä, jolloin mehiläiset eivät olleet aktiivisia, eivätkä päässeet karkuun pesistä.

Neljästä eri käsittelystä muodostettiin pääkoepellolle yhteensä 40 havaintoyksikköä, joita kutsutaan tästä eteenpäin ruuduiksi. Kutakin käsittelyruutua oli pääkoepellolla kymmenen kappaletta, kunnes yksi kontrolliruudun häkki (8. lohko) hajosi korjauskelvottomaksi myrskytuulessa (7.6.) juuri värimorsingon kukinnan alkaessa, joten kokeeseen jäi lopulta 39 ruutua. Ruudut lohkotettiin kymmeneen lohkoon siten, että jokaiseen lohkoon tuli yksi kutakin käsittelyä. Lohkot järjestettiin keskelle peltoa kymmeneksi jonoksi koillinen-lounais- suunnassa siten, että lohkon ensimmäiset ruudut olivat toisistaan kymmenen metrin päässä. Lohkojen sisällä käsittelyiden järjestys satunnaistettiin ja jokaisen käsittelyn väliin jäi 15 metriä (Kuva 2.). Satunnaistaminen tehtiin, jotta mahdollinen viereisen metsän aiheuttama varjostus ja ruutujen etäisyys pellon vierelle tuotuun tarhamehiläispesään ei vaikuttaisi kokeen tuloksiin.

Kuva 2. Käsittelyruutujen sijoittuminen pääkoepellolla

Muutamien pölytyshäkkien verkkoihin tuli pieniä reikiä, kesäkuun puolessavälissä (18.6) olleen rankan sadekuuron seurauksena. Reiät peitettiin nopeasti ilmastointiteipillä, mutta kolmesta mehiläispesällisestä häkistä pääsi pieni parvi mehiläisiä häkin ulkopuolelle. Ulospäässeet mehiläiset jäivät häkin reunalle loppukokeen ajaksi parveen. Tämän jälkeen suljettuja häkkejä tarkkailtiin päivittäin mahdollisten huomaamatta jääneiden reikien takia, mutta niiden sisälle ei havaintojen perusteella päässyt luonnonpölyttäjiä.

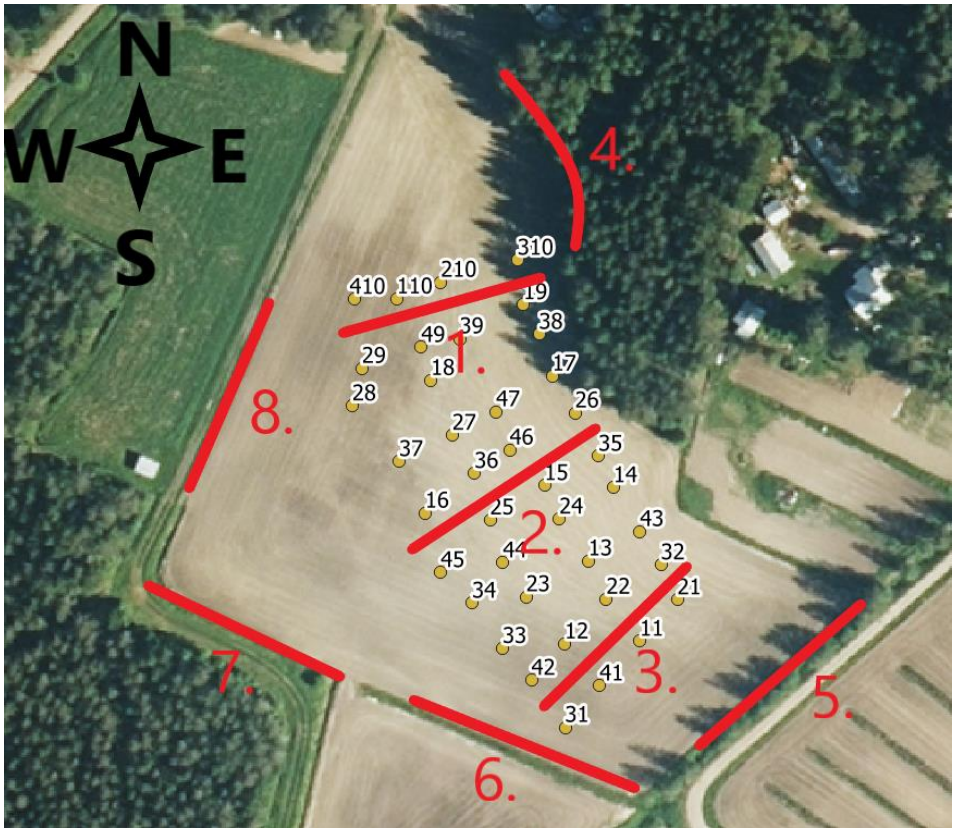
2.2. Linjalaskennat

Toteutin linjalaskennat värimorsingon kukinnan aikana kesäkuussa 2020 yhteensä kahdellatoista linjalaskentalinjalla. Linjalaskennat suoritin sekä pääkoepellolla (Linjat 1-3), sen laidoilla (Linjat 4-8), että neljällä muulla värimorsinkopellolla (Linjat 9-12), jotka sijaitsivat 1,5 km-3,5 km päässä pääkoepellosta. Kaikki linjalaskentalinjat olivat 50 metriä pitkiä, viisi metriä leveitä ja 2,5 metriä korkeita (Heliölä 2020). Linjalaskentalinjojen alku- ja päätöspisteet merkitsin aurauskepeillä, jotta laskentalinja pysyi samana koko kenttätutkimuksen ajan. Laskennoissa kirjasin ylös kaikki linjoilla tavatut, myös ohilentävät, pölyttäjät. Tarvittaessa pyydystin pölyttäjiä haaveilla tarkempaa lajinmääritystä varten, jonka jälkeen vapautin ne vahingoittumattomina. Vaikka pyrin tunnistamaan pölyttäjät lajitasolla asti, jaoin ne aineiston analysointia varten isompiin ryhmiin. Käyttämäni ryhmät olivat kukkakärpäset (Syrphidae), muut kaksisiipiset (Diptera), tarhamehiläiset (*Apis mellifera*), kimalaiset (*Bombus*), erakkomehiläiset ja perhoset (*Lepidoptera*).

Suoritin linjalaskennat Suomen ympäristökeskuksen tekemän kimalaisten linjalaskentaohjeen (Heliölä 2020) mukaisten sää- ja kellonaikavaatimusten mukaan kello 10-17 välillä lämpiminä ja aurinkoisina päivinä. Ennen ja jälkeen pääkoepellon linjalaskentoja kirjasin ylös kellonajan, lämpötilan, pilvisyyden ja tuulisuuden. Koska muiden neljän pellon välillä oli välimatkaa ja siirtymiseen kului aikaa, kirjasin olosuhteet erikseen ylös myös näiden peltojen linjojen (Linjat 9-12) laskentoja tehdessäni. Koska yksittäisen linjalaskennan suorittamisen aikana säätila ei koskaan ehtinyt juuri vaihtua, tyydyin Linjojen 9-12, eri ei-pääkoepellon linjojen, kohdalla kirjaamaan ylös pelkästään laskennan aloituksen aikana vallinnut säätila. Jokaisen linjan kohdalla oli määrä kirjata myös, kuinka suuri osuus laskennasta tehtiin auringon ollessa pilvessä, mutta pilvien vähäisyyden takia tähän ei ollut kertaakaan tarvetta. Pääkoepellon linjalaskentoja yhteydessä kirjatut säätilat löytyvät tutkielman Liitteestä 1.

Koska tiesin värimorsingon kukinnan kestävän noin kaksi viikkoa (Pasi Ainasoja, suullinen tiedonanto), suoritin laskentoja Suomen ympäristökeskuksen ohjeita tiheämpään, yhteensä viisi kertaa reilun kahden viikon aikana. Olin suunnitellut tekeväni laskentoja vielä useammin, mutta säävaatimukset eivät pilvisyyden ja sateettomuuden osalta täyttyneet.

Pääkoepellolla oli kolme laskentalinjaa (Linjat 1-3), joista ensimmäinen oli kymmenennen ja yhdeksännen lohkon välissä, toinen viidennen ja kuudennen lohkon välissä, eli keskellä koeasetelmaa, ja kolmas toisen ja ensimmäisen lohkon välissä. Perustin pääkoepellon reunoille viisi laskentalinjaa (Linjat 4-8) siten, että ne kuvasivat mahdollisimman hyvin pellon ympärillä olevia erilaisia elinympäristöjä (Kuva 3.). Jokainen laskentalinja edusti yhtenäistä elinympäristötyyppiä, mutta laskentalinjat poikkesivat kasvillisuudeltaan toisistaan. Liitteessä 2. on merkitty näiltä laskentalinjoilta havaitut kukkivat kasvit.



Kuva 3. Linjalaskentalinjojen sijoittuminen pääkoepellolle ja sen ympäristöön. Pisteiden yhteydessä olevista numeroista ensimmäinen kertoo ruudun käsittelyn (1-4) ja jälkeinen numero ruudun lohkon (1-10). Käsitellyissä 1=avoin, 2=suljettu, 3=pakotettu, 4=kontrolli

Pääkoepellon linjojen lisäksi perustin myös neljälle muulle värimorsinkopellolle linjalaskentalinjoja, yksi kullekin pellolle. Kahdelle muulle pellolle oli tuotu kolme mehiläispesää ennen värimorsingon kukinnan alkua, kaksi peltoa oli luonnonpölyttäjien varassa. Näiden peltojen linjalaskentalinjoista saatiin vertailuaineisto pääkoepellon laskentalinjoille. Mehiläispesällisten peltojen linjalaskentalinjat perustettiin alkamaan 105 metrin päähän mehiläispesistä. 105 metriä oli sama etäisyys kuin etäisyys pääkoepellon keskimmäisen linjan (2. laskentalinja) ja pääkoepellon mehiläispesän kanssa. Mehiläispesättömien peltojen linjat perustettiin keskelle peltoja.

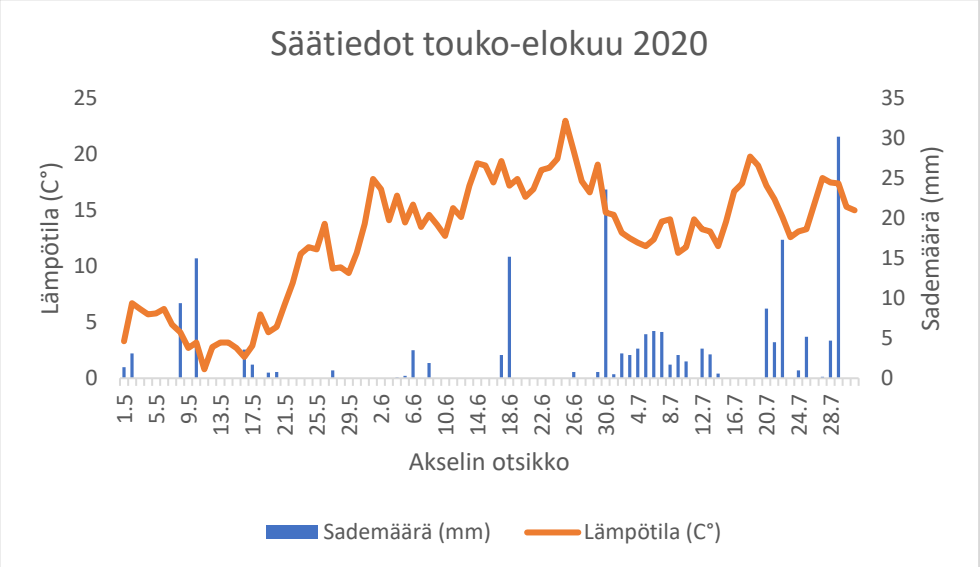
2.3. Pölyttäjätarkkailu

Linjalaskennoissa sain selvitettyä alueen pölyttäjälajistoa. Jotta saisin tarkempaa tietoa, mitkä pölyttäjät vierailivat nimenomaan värimorsingoilla, tain lisäksi pölyttäjätarkkailua värimorsingon kukilla. Linjalaskentojen ja pölyttäjätarkkailun säävaatimukset olivat samankaltaiset, joten ne tehtiin aina samoina päivinä.

Pölyttäjätarkkailu tein Garibaldin ym. (2019) tutkimuksessa käytettyjä ohjeita mukaillen. Vapaapölytteisiltä ruuduilta arvoin satunnaisesti viisi tarkkailtavaa ruutua jokaisella havainnointikerralla erikseen, joita tarkkailin ensin aamulla ja myöhemmin uudestaan saman päivän iltapäivällä. Yksittäistä ruutua tarkkailin kerralla viisi minuuttia, jonka aikana kirjasin ylös kaikki ruudun värimorsinkojen kukilla vierailleet pölyttäjät. Kirjasin vain kukille laskeutuneet pölyttäjät, pelkästään ruudun ohi lentävät pölyttäjät jätin pölyttäjätarkkailussa huomiomatta.

2.4. Säätiedot

Säätiedot touko-elokuun keskilämpötiloista ja -sademääristä koottiin (Kuva 4.) Ilmatieteen laitoksen (2020) säähavaintoasemalta Ylivieskan lentokentältä. Ylivieskan lentokenttä sijaitsee noin 26km päässä pääkoepellosta, jossa häkkikokeet suoritettiin. Kesäkuu 2020 oli poikkeuksellisen lämmin, sen keskilämpötila poikkesi 4,0 C° 1981-2010 keskiarvosta (Ilmatieteen laitos 2021).



Kuva 4. Lämpötila (C°) ja sademäärä (mm) touko-heinäkuussa 2020 Ylivieskan lentokentältä mitattuna.

2.5. Värimorsingon litujen kerääminen ja punnitseminen

Elokuun alussa 2020, 3.8.-6.8., värimorsingon siementen ollessa kypsiä, suoritin litujen keräämisen. Litujen keräämisen toteutin keräämällä värimorsingon standardipitkiä, 90-110 cm korkeita varsia, koska kaikkia ruudun värimorsinkoja ei pystyttykään keräämään, kuten alun perin olin suunnitellut. Varsien pituudet standardisoitiin, koska huomattavasti lyhyemmissä tai pidemmissä oksissa lituja oli enemmän tai vähemmän. Lähes kaikki pellon värimorsingot olivat kuitenkin kasvaneet hyvin saman mittaisiksi. Keräsin jokaisesta pääkoepellon 39:stä ruudusta ensin kolme 90-110 cm pitkää värimorsingon vartta ja laitoin varret omiin pusseihinsa. Koska idätyskokeisiin tarvittiin otos kaikista ruudun värimorsingoista, keräsin lisäksi jokaisesta ruutujen värimorsingosta yhden varren ja laitoin kaikki samasta ruudusta kerätyt varret samaan ruutukohtaiseen pussiin. Pääkoepellon lisäksi keräsin myös muilta koepelloilta siemennäytteet. Keräsin muilta koepelloilta omiin peltokohtaisiin pusseihin satunnaisesti kaksikymmentä 90-110 cm pitkää värimorsingon vartta, jotka keräämisen jälkeen annoin kuivua huoneenlämmössä.

Kahden viikon kuluttua litujen keräämisestä ja niiden ollessa kuivia, punnitsin lidut. Lidut punnittiin, jotta saisin selville, vaikuttaako hyönteispölytys litujen kokoon ja vaikuttaako litujen koko siementen itävyyteen. Punnitsin yleensä yhden siemenen sisältämät lidut siementen punnitsemisen sijaan, koska alle milligramman painavien siementen punnitsemisessa mittausvirheen riski olisi kasvanut liian suureksi erittäin tarkoillakin mittausvälineillä. Lisäksi lidut eivät kuivanakaan avautuneet helposti ja niiden avaaminen käsin oli erittäin aikaa vievää, joten litujen punnitseminen siementen sijaan oli ainoa varteenotettava vaihtoehto. Ensimmäiseksi punnitsin jokaisesta ruudusta kerättyjen kolmen yksittäisten oksien kaikkien litujen painot (g). Toiseksi otin kaikista samoista ruuduista kerätyistä värimorsingon varsien liduista satunnaistetun sadan lidun otoksen, jonka punnitsin (g). Kolmanneksi valitsin satunnaisesti lituja jokaisesta ruudusta kerätyistä varsista ja punnitsin liduista yhden lidun painon (mg). Litujen ollessa todella kevyitä ja punnituksen ollessa herkkä mittausvirheille, vähensin mittausvirheen mahdollisuutta punnitsemalla kolme litua ja laskemalla niiden keskimääräisen painon. Neljänneksi punnitsin muilta kuin pääkoepelloilta kerättyjen litujen painot. Tässä punnituksessa valitsin jokaiselta pellolta kerätyistä liduista satunnaisesti viisi sadan lidun otosta, joiden painot punnitsin.

Punnituksia tehdessä havaitsin, että joidenkin litujen sisältä puuttui siemen ja siemenet näyttivät puuttuvan käsittelykohtaisesti. Havainnon perusteella päätin, että jokaisen ruudun siemenistä valitaan satunnaisesti kolmekymmentä litua, jotka avaisin ja kirjaisin, sisältääkö litu siemenen vai ei.

2.6. Idätyskokeet

Lokakuun alussa 2020 toteutin siementen itävyyttä selvittävät idätyskokeet Turun yliopiston tiloissa sijaitsevissa idätyskaapeissa. Ennen varsinaista idätyskoetta tein kokeeksi valmistelevan idätyskoe, jossa testasin etukäteen, kuinka idätyskoe kannattaa suorittaa. Kokeeksi otin satunnaisesti kaikista käsittelyistä neljäkymmentä värimorsingon litua, joista kahdestakymmenestä poistin lidun siemenen ympäriltä. Idätin kymmenen lidullista siementä ja kymmenen kuorittua siementä petrimaljoissa pimeässä ja saman määrän lidullisia ja liduttomia siemeniä valossa. Yksikään lidullinen siemen ei itänyt petrimaljoilla ja pimeässä idätetyt kuoritut siemenet itivät parhaiten, joten varsinaisen idätyskokeen suoritin liduttomilla siemenillä pimennetyissä kasvatuskaapeissa.

Idätyskokeeseen valitsin satunnaisesti siemeniä, jotka olin kerännyt kaikista ruudun värimorsingoista. Idätyskokeeseen otin kaikista 39:n ruudun siemenistä kolme kymmenen siemenen satunnaista otosta. Idätyskoe kesti yhdeksän päivää, jonka aikana siemenet saivat itää petrimaljoilla kostean paperin päällä pimeissä kasvatuskaapeissa, jonka lämpötilana oli 21°C koko idätyskokeen ajan. Laskin siementen itävyysprosentti kahdesti idätyskokeen aikana, ensimmäisen kerran 5. päivänä ja toisen kerran 9. päivänä, idätyskokeen päättyessä. Myöhemmin tehdyssä aineiston analysoinnissa käytin vain jälkimmäisiä idätyskokeiden tuloksia.

Myöhemmin syksyllä tein samanlaisen idätyskokeen, jossa tutkin siementen itävyyttä peltojen välillä. Tässä idätyskokeessa idätin jokaiselta viideltä pellolta, pääkoepellolta, kahdelta mehiläispesälliseltä ja kahdelta mehiläispesättömältä, kerättyjä siemeniä. Pääkoepellon siemenet olivat satunnaisesti kaikista avoimista ruuduista kerättyjä, muiden peltojen siemenet olivat satunnaisesti ympäri peltoja kerättyjä. Valitsin kunkin pellon siemenistä satunnaisesti viisi kymmenen siemenen otosta kuorituista liduista ja siemeniä idätettiin idätyskaapeissa samoissa olosuhteissa kuin pääkoepellon idätyskokeessa. Kiireellisen aikataulun takia idätin siemeniä vain kahdeksan päivää. Idätyskoetta voitiin lyhentää, koska aiemmin tekemässäni pääkoepellon siementen idätyskokeessa havaitsin, ettei siementen itävyys muuttunut enää kahdeksannen päivän jälkeen.

2.7. Tilastolliset menetelmät

Vertailin pölytyshäkkikokeen eri käsittelyiden sadan lidun painoja, oksien litujen painoa, yksittäisten litujen painoja ja siementen itävyysprosenttia kiinteiden ja satunnaisten vaikutusten sekamallilla (Glimmix). Sekamallissa kiinteinä vaikutuksina toimivat käsittely (avoin, suljettu, pakotettu ja kontrolli) ja satunnaisvaikutuksena lohko. Käsittelyn ollessa merkitsevä, vertailin

Tukeyn testillä jokaista käsittelyä pareittain kaikkiin muihin käsittelyihin. Tein sekamalli ja Tukeyn testin käyttäen SAS Enterprise Guide 7.1-tilasto-ohjelmaa (SAS Intitute Inc. 2019).

Tarhamehiläispesällisten ja -pesättömien peltojen litujen painoja tarkastelin parametrisella parittaisella t-testillä ja itävyyksiä (%) tarkastelin epäparametrisella u-testillä, koska normaalijakautuneisuusoletus ei peltojen välisten itävyyksien kohdalla täyttynyt. Peltojen välisten tulosten analysointiin käytin RStudio-tilasto-ohjelmaa (R Core Team 2021).

Linjalaskennoissa tavattujen pölyttäjien eroja tarkastelin monimuuttajamenetelmän avulla, jossa merkitsevyydet lajistossa testattiin permutaatiotestillä. Pölyttäjälajistoa analysoin Sørensenin etäisyysmatriisin avulla, joka laskettiin lajiryhmien suhteellisista runsauksista kullakin laskentalinjalla. Testissä permutaatioiden määrä oli 999. Pölyttäjälajistoa analysoidessa vertailin sekä pesällisten että pesättömien linjojen lajistojen eroja, ja värimorsinkopellon linjojen ja värimorsinkopeltojen ulkopuolisten linjojen lajistoa. Analysointiin käytin RStudion vegan paketin Adonis-funktiota (R Core Team 2021).

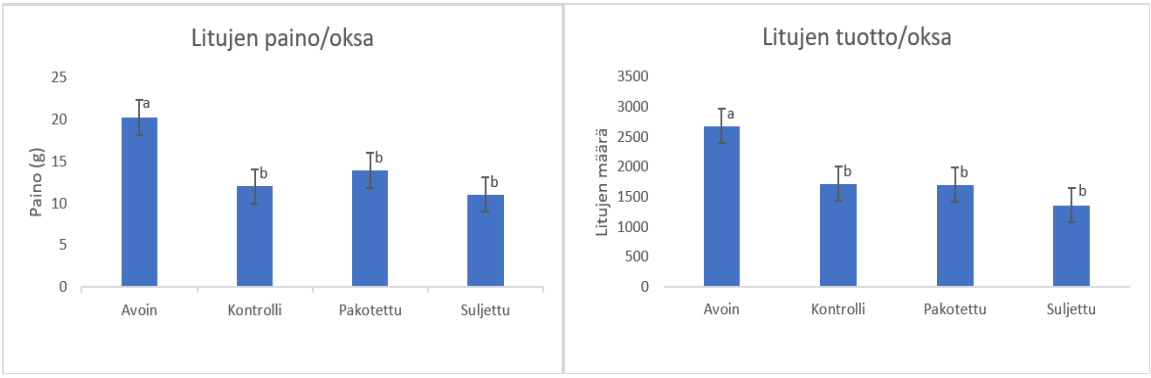
Normaalijakautuneisuuden testaamiseen käytin Shapiro-Wilkin testiä ja kaikissa analyyseissa tilastollisen merkitsevyyden rajana pidin $p<0.05$.

3. Tulokset

3.1. Pölytyshäkkikoe

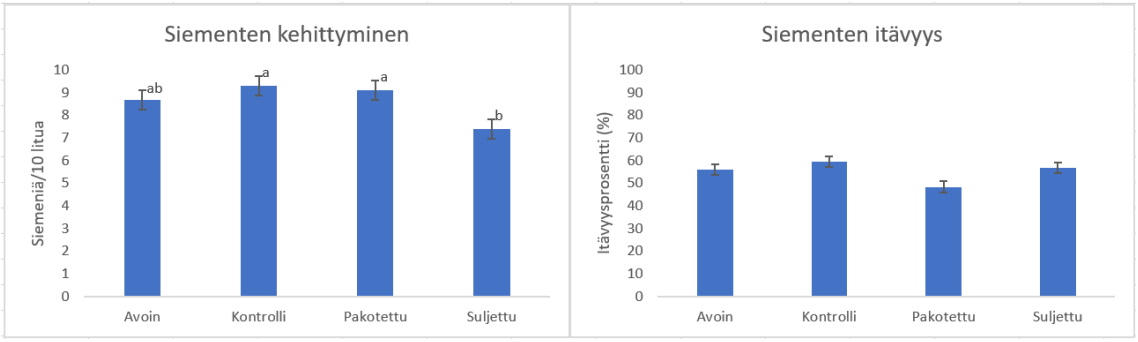
Käsittelyt vaikuttivat värimorsingon litujen tuottoon ($df=35$, $F=9.91$, $p<0.0001$), oksien painoon ($df=35$, $F=7.03$, $p=0.0008$) ja siementen kehittymiseen ($df=35$, $F=5.75$, $p=0.0026$) litujen sisällä.

Oksien litujen tuotto ja paino olivat suurimmat avoimissa käsittelyissä ja pienimmät suljetussa käsittelyssä; Tukeyn testin perusteella avoin käsittely poikkesi kaikista muista käsittelyistä litujen tuotannossa ja oksien litujen painossa (Kuva 5.).



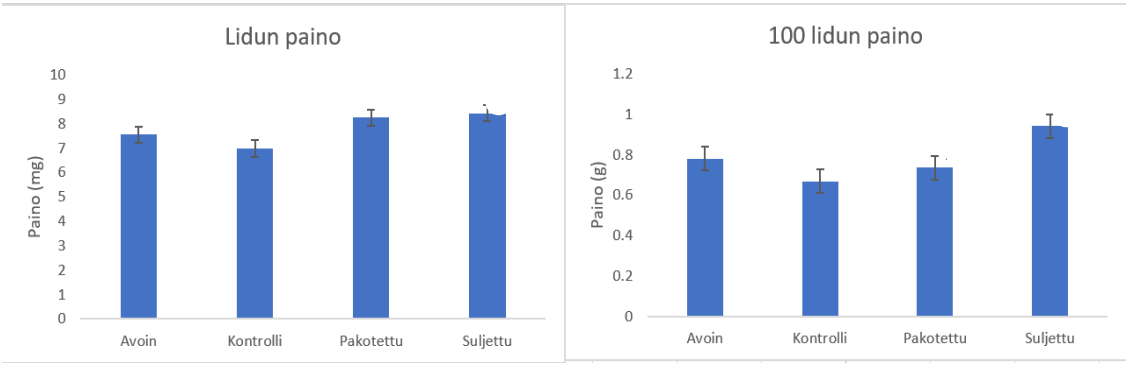
Kuva 5. Värimorsingon litujen painot ja lukumäärät per oksa käsittelyittäin (keskiarvo ± keskivirhe). Eri kirjaimella merkityt pylväät eroavat toisistaan perustuen Tukeyn testiin (p<0.05, n=117).

Siementen kehittyminen litujen sisällä oli vähäisintä suljetussa käsittelyssä ja Tukeyn testin perusteella suljetun käsittelyn siementen kehittyneisyys poikkesi sekä pakotetusta käsittelystä että kontrollikäsittelystä (Kuva 6.). Siementen itävyydet eivät eronneet toisistaan käsittelyiden välillä (df=35, F=0.94, p=0.43).



Kuva 6. Värimorsingon siementen kehittyminen litujen sisällä ja siementen itävyys käsittelyittäin (keskiarvo ± keskivirhe). Eri kirjaimella merkityt pylväät eroavat toisistaan perustuen Tukeyn testiin (p<0.05, n=117).

Käsittelyllä ei ollut vaikutusta yksittäisten lidun painoihin (df=35, F=1.62, p=0.20), eikä sadan lidun painoon (df=35, F=1.94, p=0.14) (Kuva 7.).



Kuva 7. Värimorsingon yksittäisten litujen painot ja sadan lidun painot käsittelyittäin (keskiarvo ± keskivirhe). Käsittely ei vaikuttanut lidun painoihin tilastollisesti merkittävästi ($p<0.05$, $n=117$).

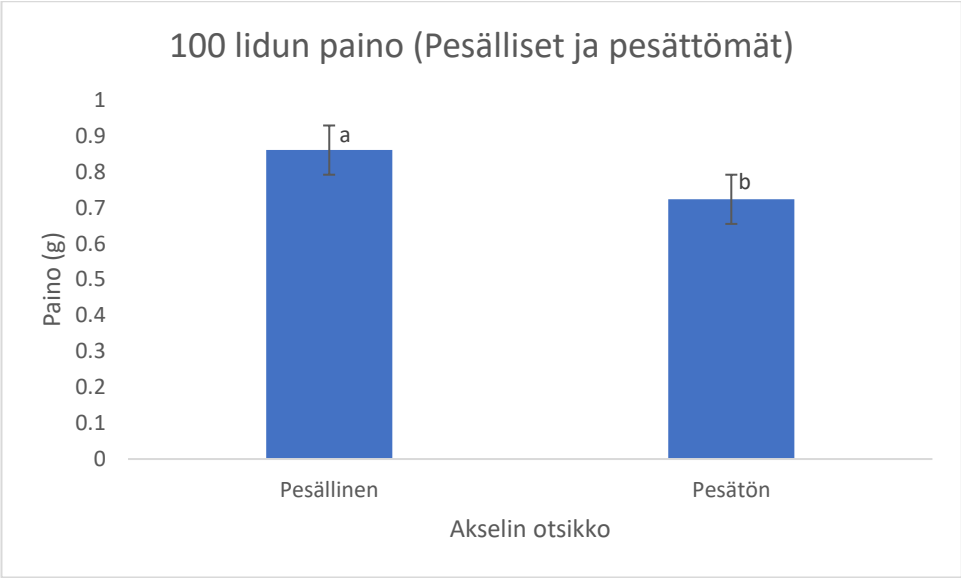
3.2. Kaikki pellot

Eri peltojen itävyysprosenttien ja sadan lidun painojen keskiarvot ovat taulukossa 1. Epäparametrisen u-testin perusteella tarhamehiläispesällisten ja pesättömien peltojen välillä ei ollut eroa kerättyjen siementen itävyydessä ($W=82.5$, $df=28$, $p=0.424$), mutta eroa löytyi pesällisten ja pesättömien peltojen sadan lidun painoissa ($t=3.101$, $df=28$, $p=0.00437$)

Taulukko 1. Kaikkien koepeltojen siementen itävyysprosentit ja sadan lidun painot (Pääkoepellon sadan lidun painoon on käytetty avoimen käsittelyn keskiarvoa)

Pelto	Itävyysprosentti (%)	100 lidun paino (g)
Pääkoepelto	88	0.782
1. Mehiläispesällinen pelto	88	1.046
2. Mehiläispesällinen pelto	98	0.835
1. Mehiläispesätön pelto	90	0.698
2. Mehiläispesätön pelto	96	0.749

Mehiläispesällisten peltojen, myös pääkoepellon, sadan lidun painot olivat keskimäärin mehiläispesättömiä peltoja 22.7 % suurempia (Kuva 8.).



Kuva 8. Tarhamehiläispesällisten ja -pesättömien peltojen 100 värimorsinkolidun painot (keskiarvo ± keskivirhe) (n=30)

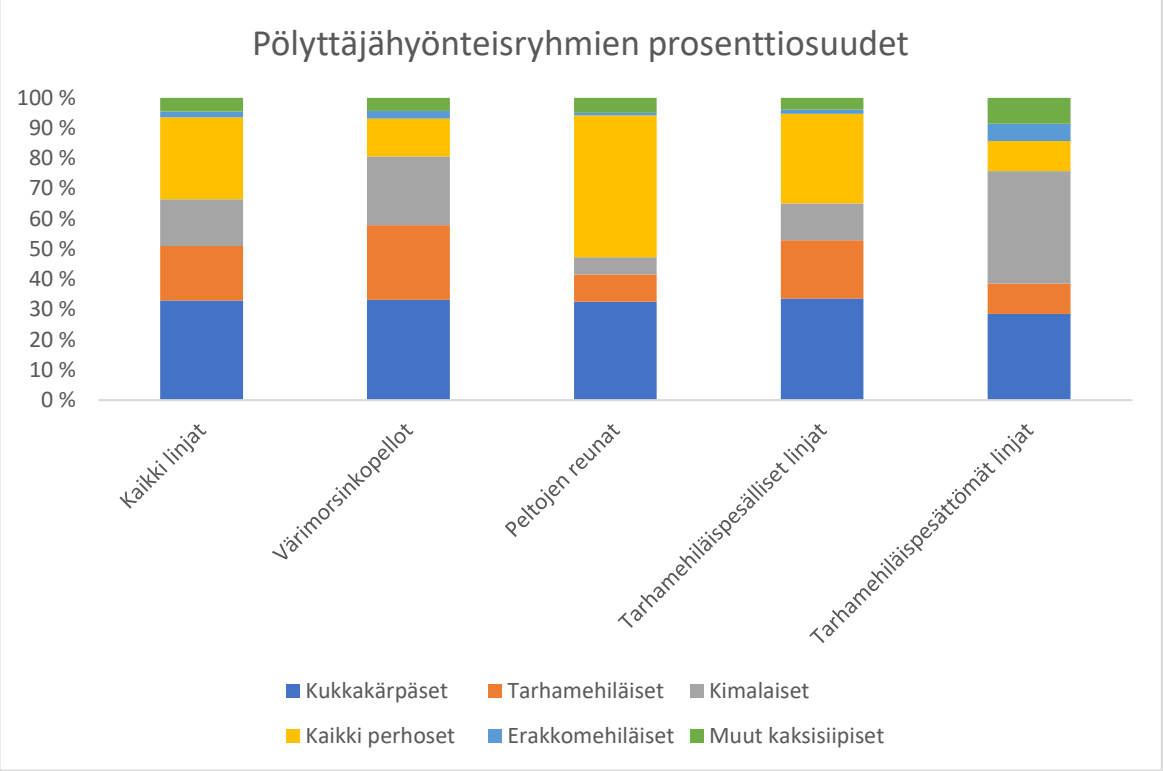
3.3. Linjalaskennat

Linjalaskennoissa kukkakärpäset olivat runsaslukuisin ryhmä sekä kaikilla laskentalinjoilla, että värimorsinkopeltojen laskentalinjoilla. Mehiläiset olivat kolmanneksi runsaslukuisin ryhmä kaikilla laskentalinjoilla ja toiseksi runsaslukuisin värimorsinkopeltojen laskentalinjoilla. Perhoset olivat toiseksi runsaslukuisin ryhmä kaikilla laskentalinjoilla, mutta kolmanneksi harvalukuisin värimorsinkopeltojen laskentalinjoilla. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Linjalaskentalinjoilla tavatut pölyttäjähyönteisryhmien yksilömäärät ja prosenttiosuudet sekä kaikilla linjoilla, että värimorsinkopeltojen linjoilla

	Kaikki linjat Lukumäärä	Kaikki linjat Prosenttiosuus %	Värimorsinkopellot Lukumäärä	Värimorsinkopellot Prosenttiosuus %
Kukkakärpäset	174	32.95	101	33.22
Kaikki perhoset	143	27.08	38	12.5
Tarhamehiläiset	95	17.99	75	24.67
Kimalaiset	82	15.53	69	22.70
Muut kaksisiipiset	24	4.55	13	4.28
Erakkomehiläiset	10	1.9	8	2.63
Yhteensä	528	100	304	100

Linjalaskennoissa tavattujen pölyttäjähyönteisten yhteisöjen koostumuksen erilaisuutta tarkasteltiin permutaatiotestillä sekä värimorsinkopelloilla ja värimorsinkopeltojen reuna-alueiden, että mehiläispesällisten alueiden ja mehiläispesättömien alueiden välillä. Pölyttäjäyhteisöjen koostumukset erosivat värimorsinkopeltojen ja värimorsinkopeltojen reunalla olevien linjojen välillä (df=11, F=4.95, p=0.003). Esimerkiksi perhosia tavattiin värimorsinkopeltojen reunojen linjoilla yli 30 prosenttiyksikköä useammin kuin värimorsinkopeltojen linjoilla (Kuva 9). Pölyttäjähyönteisten kannat erosivat myöskin niiden alueiden välillä, joille oli tuotu mehiläispesä ja niiden alueiden, jotka olivat luonnonpölyttäjien varassa (df=11, F=3.22, p=0.005). Kun tarkasteltiin mehiläispesällisiä ja mehiläispesättömiä alueita niin, että otettiin huomioon vain värimorsinkopelloilla olevat linjat, pölyttäjähyönteiskannat eivät eronneet toisistaan (df=6, F=1.57, p=0.24). Kuva 9. havainnollistaa eri pölyttäjälajien esiintyvyyksiä erilaisilla linjalaskentalinjoilla.



Kuva 9. Pölyttäjähyönteisten prosenttiosuudet kaikilla linjoilla, värimorsinkopeltojen ja värimorsinkopeltojen reunojen linjoilla ja tarhamehiläispesällisten ja -pesättömien linjoilla.

Lisäksi Liitteet-osiosta löytyy Liite 3., joka esittää kaikkien pölyttäjähyönteisryhmien yksilöiden lukumäärät koko kukinnan aikana linjoittain. Taulukon kaksi viimeistä saraketta kertovat, oliko linjalaskentalinja värimorsinkopellolla ja oliko sen välittömässä läheisyydessä mehiläispesää.

3.4. Pölyttäjätarkkailu

Pölyttäjätarkkailussa värimorsingon kukilla yleisemmin tavattu pölyttäjäryhmä oli kukkakärpäset, jotka muodostivat noin 60 % kaikista pölyttäjistä (Taulukko 3.). Toiseksi yleisin pölyttäjäryhmä oli tarhamehiläiset, jotka muodostivat viidenneksen tavatuista pölyttäjistä.

Taulukko 3. Värimorsingon pölyttäjätarkkailussa tavatut pölyttäjähyönteislajit ryhmittäin

Pölyttäjäryhmä	Lukumäärä	Prosenttiosuus
Kukkakärpäset	47	58.0
Mehiläiset	16	19.8
Muut kaksisiipiset	9	11.1
Erakkomehiläiset	5	6.2
Päiväperhoset	3	3.7
Kimalaiset	1	1.2

4. Pohdinta

4.1. Hyönteispölytyksen vaikutus värimorsingon siemensatoon

Tulokset osoittavat, että hyönteispölytys vaikuttaa värimorsingon siemensadon määrään ja siementen laatuun. Pölytyshäkkikokeessa hyönteispölytykseltä suljetut värimorsingot tuottivat vähemmän siemeniä, kuin muut käsittelyt, tosin suljettu käsittely erosi tilastollisesti merkittävästi vain avoimesta käsittelystä. Litujen painot ja siementen itävyydet eivät kuitenkaan eronneet käsittelyjen välillä. Hyönteispölytykseltä suljettujen värimorsinkojen siemenet olivat kuitenkin kehittyneet huonommin litujen sisällä kuin muiden käsittelyiden värimorsinkojen siemenet.

Ensimmäinen tutkimukselle asettamani hypoteesi oli, että hyönteispölyttäjiltä suljetut värimorsingot tuottavat vähemmän ja pienempiä lituja kuin hyönteispölytykselle avoimet tai pelkkien tarhamehiläisten pölytykselle pakotetut värimorsingot. Myös siementen itävyyden oletettiin olevan huonompi itsepölytyksen varassa olevilla värimorsingoilla. Ensimmäinen hypoteesi toteutui siis vain osittain, koska hyönteispölytykseltä suljettujen värimorsinkojen litujen määrä erosi tilastollisesti merkittävästi vain avoimesta käsittelystä. Vaikka pakotetun käsittelyn ja suljetun käsittelyn välillä ei ollut litujen määrässä tilastollisesti merkittävää eroa, pakotettu käsittely tuotti lituja 25 % suljettua käsittelyä enemmän. Näin ollen eroa voidaan

kuitenkin pitää biologisesti merkittävänä. Hypoteesin vastaisesti avoimen ja pakotetun käsittelyn lidut eivät olleet suljetun käsittelyn lituja painavampia. Litujen painolla oletettiin olevan yhteys siementen laatuun, mutta tässä tutkimuksessa siihen ei saatu vahvistusta, kun käsittelyiden välillä ei ollut eroa litujen painoilla eikä itävyydellä. Litujen painojen sijaan olisi parempi mitata siementen painoa. Tosin värimorsingon siementen ollessa todella pieniä, mittausvirheen mahdollisuus kasvaa suureksi tarkoillakin mittausvälineillä.

Toinen tutkimukselle asettamani hypoteesi oli, että pelkkien tarhamehiläisten pölyttämät värimorsingot tuottavat vähemmän ja pienempiä siemeniä, kuin vapaapölytteiset värimorsingot ja pelkkien tarhamehiläisten pölyttämien värimorsinkojen siemenet itävät vapaapölytteisiä huonommin. Toinenkin hypoteesi toteutui vain litujen määrän osalta, kun avoimen käsittelyn värimorsingot tuottivat lähes 58 % suuremman sadon.

IPBES:n raportin (2016) perusteella laaja pölyttäjälajisto tarjoaa paremman pölytyksen, kuin mikään yksittäinen laji, jonka takia pakotetun pölytyksen odotettiin tuottavan vähemmän lituja ja huonommin itäviä siemeniä kuin avoimen käsittelyn. Valtava ero litujen tuotossa ei kuitenkaan välttämättä johtunut pelkästään yksipuolisesta pölytyksestä. Mehiläispesässä voi olla parhaimmillaan kymmeniä tuhansia tarhamehiläisiä (Peltotalo 2010), joten värimorsingon kannalta pakotetun pölytyksen kuution kokoisissa koeruuduissa tarhamehiläisiä on siis ollut liikaa suhteessa tarpeeseen. Koska koeruutujen pölytyshäkit estivät mehiläisiä pääsemästä ruuduista hakemaan ravintoa, ne saivat ravintonsa vain niille ennen pölytyshäkkiin sulkemista annetusta sokerivedestä ja häkin sisällä olevista värimorsinkojen siitepölystä. Oletettavasti mehiläiset söivät paljon normaalia enemmän värimorsinkojen siitepölyä, joka on värimorsingon kannalta hukattua siitepölyä, koska se on pois pölytyksestä (Wilcock & Neiland 2002). Vuoden 2020 kesäkuu oli myös erittäin kuuma ja kuiva, joten värimorsingot saivat luultavasti huomattavasti muita käsittelyitä vähemmän vettä mehiläisten käyttäessä kaiken sateen ja kasteen tuoman kosteuden omiin tarpeisiinsa. Suuri määrä mehiläisiä teki myös näköhavaintojen perusteella fyysistä vahinkoa värimorsinkojen kukinnoille. Kasvukauden loppupuolella värimorsinkojen kukinnot näyttivät turmelluilta, esimerkiksi kukkien terälehdet olivat irronneet jo ennen muita käsittelyjä.

Kolmas tutkimukselle asettamani hypoteesi oli, että avoimen käsittelyn ja kontrollikäsittelyiden värimorsinkojen litujen määrä ja siementen laatu ja itävyys eivät eroa. Kontrollikäsittely oli nimensä mukaisesti kontrollikäsittely ja sen ei pitänyt erota avoimesta käsittelystä mitenkään, koska molemmat käsittelyt olivat vapaapölytteisiä ja värimorsinkojen päälle asetetun verkon oli määrä läpäistä auringonvaloa, tuulta ja sadetta. Hypoteesin vastaisesti avoin käsittely ja kontrollikäsittely kuitenkin erosivat toisistaan litujen määrässä. Tämä johtuu oletettavasti ainakin osittain siitä, että todellisuudessa pölyttäjien oli vaikeampi päästä kontrollikäsittelyiden värimorsingon kukille, koska värimorsingot kasvoivat koepellolla korkeammiksi kuin pölytyshäkit. Värimorsingon tiedettiin kasvavan 40-100 cm korkeaksi (Suomen lajitietokeskus 2019c), jolloin 130 cm korkeiden pölytyshäkkien ajateltiin riittävän. Värimorsingot kasvoivat

kuitenkin korkeammaksi kuin 100 cm ja jouduin paaluttamaan pölytyshäkkejä kesäkuun alun tuulisen sään takia niin syvälle, että niiden korkeus jäi alle 100 cm. Tämä johti tilanteeseen, jossa korkeimmat värimorsingot taipuivat kontrollihäkin katokseksi asetettua verkkoa vasten ja pölyttäjien oli hankalampaa päästä osalle kasvin kukinnoista, jolloin pölyttäjät ovat todennäköisesti suosineet kontrollihäkkien viereisiä, vapaana kasvavia kukintoja.

Neljäs tutkimukselle asettamani hypoteesi oli, että tarhamehiläispesällisten värimorsinkopeltojen litujen tuotto ja siementen laatu ovat parempia, kuin värimorsinkopeltojen, joiden läheisyyteen ei ole tuotu mehiläispesää. Pääkoepellon lisäksi tutkimukseen kuului neljä muuta peltoa, joista kahden reunaan oli tuotu mehiläispesiä ja kahden reunaan ei. Vaikka näillä pelloilla ei tehty pölytyshäkkikokeita, myös niiltä kerättiin satunnaisotannalla siemennäytteet, joista punnittiin sadan lidun painot ja tehtiin idätyskokeet. Myös pääkoepelto otettiin vertailuun mukaan tarhamehiläispesällisenä peltona, mutta sen reunalla oli vain yksi mehiläispesä, kun kahden muun mehiläispesällisen pellon vieressä oli kolme pesää. Kun kaikkien peltojen siemenpainoja ja itävyyksiä vertailtiin, huomattiin, että mehiläispesällisillä pelloilla sadan lidun painot olivat mehiläispesättömiä peltoja suurempia. Tämä oli sikäli yllättävä tulos, koska lidun painoissa ei ollut eroja käsittelyiden välillä pölytyshäkkikokeissa. Toisen mehiläispesällisen pellon sadan lidun paino erosi tilastollisesti merkittävästi jopa mehiläispesällisestä pääkoepellosta. Peltojen välillä itävyydellä ei ollut merkitsevää eikä biologisesti merkittävää eroa, mutta itävyydet olivat korkeammat kuin aikaisemmin tehtyjen pääkoepellon itävyyskokeissa havaitut itävyydet. Tässä myöhemmin tehdyssä itävyyskokeessa myös pääkoepellon itävyysprosentti, joka saatiin idättämällä satunnaisia avoimen käsittelyn siemeniä, oli aiemmin tehtyä idätyskoetta korkeampi. Tämä oli odottamaton tulos, koska idätyskokeet tehtiin täsmälleen samanlaisissa olosuhteissa kuin aiemmassa idätyskokeessa, eikä värimorsingon siemenillä ole dormanssi-vaihetta (Evans & Gunnell 1982), joka heikentäisi itävyyttä uusissa siemenissä. Näiden kaikkien peltojen tuloksiin on kuitenkin suhtauduttava varauksella, sillä otoskoko oli todellisuudessa liian pieni pitäviä johtopäätöksiä varten. Jatkotutkimuksia ajatellen tällainen pölytyskoe, jossa vertaillaan peltoja, jossa osalla on tuotu tarhamehiläispesiä ja osalle ei, olisi kiinnostavaa ja tärkeää. Tällaisessa koeasetelmassa saataisiin tarkemmin selvillä, kuinka paljon värimorsinko todella hyötyy pölytyspalveluista. Tällaisessa koeasetelmassa tarvittaisiin vain huomattavasti enemmän peltoja ja näytteenkeruu ja -analysointi täytyisi suorittaa eri tavalla, esimerkiksi vertailemalla peltojen hehtaarituotantoa tai satoindeksiä yksittäisten oksien keräämisten ja siementen punnitsemisten sijaan.

Suomen Mehiläishoitajain Liiton aiemmin teettämissä pölytyshäkkikokeissa muilla kasveilla on saatu vastaavanlaisia tuloksia kuin tässä tutkimuksessa. Esimerkiksi Toratin (2018) tutkimuksessa hyönteispölytyksen vaikutuksesta tattarin satoon havaittiin avoimen käsittelyn tattarien tuottavan suurimman sadon pakotetun käsittelyn sadon jäädessä lähes puolta avointa pienemmäksi. Tattarin tosin todettiin vaativan hyönteispölytystä sadon saamiseksi suljetun käsittelyn sadon jäädessä yli

kaksikymmentä kertaa avoimen käsittelyn satoa pienemmäksi, kun taas värimorsinko kykeni tuottamaan kohtalaisen sadon myös täysin ilman hyönteispölytystä.

Toisin kuin tässä tutkimuksessa, Toratin (2018) tutkimuksessa avoin käsittely ja kontrollikäsittely (tutkimuksessa nimellä avoin häkki) eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkittävästi, vaikka avoin käsittely tuottikin kontrollia lähes 15 % suuremman sadon. Toratin tutkimuksessa käytettiin värimorsinkotutkimusta suurempia pölytyshäkkejä (4,2 m X 1,6 m X 1,4 m) ja tattari on värimorsinkoa matalampi, vain 15-70 cm korkea (Luontoportti 2021a). Oletettavasti paremmin pölytyshäkkien sisään mahtuneet tattarit ovat olleet pölyttäjähyönteisille houkuttelevampi vierailunkohde kuin värimorsinkotutkimuksen kontrollikäsittelyiden. Vaikka suuremmat ja etenkin korkeammat häkit olisivat olleet tässä värimorsinkotutkimuksessa paremmat, Toratin tutkimuksessa käytetyt häkit olivat huomattavasti käytettyjä häkkejä kevytrakenteisempia ja niiden käytössä olisi ollut riskinsä Nivalassa värimorsinkokokeen alkupuolella olevien kovien tuulien takia, jossa yksi vankkarakenteisempikin häkki hajosi.

Klein ym. (2007) esitti tutkimuksessaan arvioita, kuinka paljon eläinpölytyksen poistaminen vähentäisi eri viljelykasvien satoja. Tutkimuksessa oli viisi luokkaa viljelykasveille sen mukaan, kuinka paljon eläinpölytyksen puuttuminen vaikuttaisi niiden sadon tuotantoon. Luokat olivat välttämätön (sato vähenee yli 90 % ilman eläinpölytystä), korkea (sato vähenee 40-90 % ilman eläinpölytystä), kohtalainen (sato vähenee 10-40 % ilman eläinpölytystä), vähäinen (sato vähenee 1-10 % ilman eläinpölytystä) ja olematon (sato ei vähene, vaikkei eläinpölytystä ole) (Klein ym. 2007). Tässä tutkimuksessa värimorsinkojen sato pieneni melkein 50 %, kun verrataan avoimen käsittelyn siementuottoa suljetun käsittelyn siementuottoon. Kleinin ym. (2007) tutkimuksessa käytettyjen sanallisten arvioiden mukaan värimorsingon sadon riippuvuus eläinpölytyksestä on korkea.

Koska pölytyshäkkikokeiden perusteella hyönteispölytys paransi värimorsingon litujen tuottoa, voidaan pölytyspalveluja suositella värimorsingon viljelijöille. Jopa aiemmin ongelmalliseksi todetun pakotetun käsittelyn litujen tuotto oli keskimäärin neljänneksen suljettua käsittelyä suurempi, vaikkei tulos ollutkaan tilastollisesti merkittävä. Tutkimukseni ei kuitenkaan vastaa kysymykseen, kuinka monta tarhamehiläispesää hehtaaria kohden on värimorsingolle ihanteellinen määrä, vaan tarjoaa loistavan tilaisuuden jatkotutkimuksille. Useilla tärkeille hyönteispölytteisille viljelyskasveille näin on jo tehty. Esimerkiksi rypsille ihanteellinen määrä pesiä hehtaaria kohden on kaksi tai kolme (Korpela 1988), mustaherukalle kahdesta neljään (Svendsen 1987) ja tattarille neljä tai viisi (Keskitalo ym. 2007).

4.2. Tutkimusalueen pölyttäjälajisto

Tutkimusalueen pölyttäjälajistoa kartoittavissa linjalaskennoissa runsaslukuisimmat ryhmät olivat järjestyksessä kukkakärpäset, perhoset, mehiläiset ja kimalaiset otettaessa huomioon kaikki laskentalinjat. Kun otettiin huomioon vain värimorsinkopelloilla olevat laskentalinjat, järjestys muuttui siten, että runsaslukuisimmat ryhmät olivat järjestyksessä kukkakärpäset, mehiläiset, kimalaiset ja perhoset.

Viides ja ainoa linjalaskentoja koskeva tutkimukselle asettamani hypoteesi oli, että linjalaskennoissa tullaan havaitsemaan useita eri pölyttäjähyönteislajeja ja erilaisten linjojen pölyttäjälajistot poikkeavat toisistaan. Hypoteesini siis toteutui ja laskentalinjoilla tavatut pölyttäjähyönteiset erosivat toisistaan sen mukaan, minkälainen laskentalinja oli kyseessä. Permutaatiotestin perusteella värimorsinkopelloille sijoitetuilla linjoilla tavattiin erilaisia pölyttäjähyönteisiä kuin värimorsinkopellon reunoilla olevilla linjoilla. Etenkin juuri perhosten puute värimorsinkopelloilla oli huomattavaa.

Pölyttäjälajistot eivät kuitenkaan permutaatiotestin perusteella eronneet toisistaan värimorsinkopelloilla olevien erilaisten linjalaskentalinjojen välillä, joiden viereen oli tuotu tarhamehiläispesiä tai jotka olivat vain luonnonpölyttäjien varassa. Luonnonpölyttäjien varassa olevat värimorsinkopellot olivat kuitenkin alle kolmen kilometrin päässä toisille värimorsinkopelloille tuoduista mehiläispesistä, joten ne olivat tarhamehiläisten teoreettisen lentomatkan päässä (Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003) ja alueen kaikista mehiläispesistä ei ollut tarkkaa tietoa, joten myös tarhamehiläiset saattoivat olla pienessä osassa näiden peltojen hyönteispölytystä. Yksittäisiä tarhamehiläisiä tavattiinkin myös pesättömien peltojen linjalaskentoja tehdessä.

Pääkoepellon reunassa oli koko värimorsingon kukinnan ajan tuotuna yksi mehiläispesä ja kahdelle muulle värimorsinkopellolle oli tuotu kukinnan ajaksi kolme pesää kummankin pellon reunalle. Pääkoepellon linjalaskentalinjoilla kuitenkin tavattiin huomattavasti enemmän tarhamehiläisiä kuin muiden värimorsinkopeltojen linjoilla (Liite 3.), vaikka näköhavaintojen perusteella kaikkien mehiläispesien lentoaukoilla näkyi jatkuvasti pesästä lähteviä ja pesään palaavia mehiläisiä. On mahdollista, että pääkoepellon pölytyshäkeillä eristetyistä pakotetuista käsittelyistä pääsi pölytyshäkkikokeen aikana yksittäisiä mehiläisiä karkuun, joita tavattiin linjalaskentoja tehdessä, mutta se ei riitä selittämään huomattavasti poikkeavia tuloksia. Syy siihen, miksi pääkoepellolla tavattiin niin paljon enemmän tarhamehiläisiä linjalaskentojen yhteydessä kuin muilla pesällisillä pelloilla, löytyy todennäköisesti alueesta. Kahden muun mehiläispesällisen pellon välittömässä läheisyydessä sijaitsi muita kukkivia peltoja, kun taas pääkoepelto sijaitsi eristyksissä suuremmista kukkivista pelloista. On siis mahdollista, että näiden pesien mehiläiset löysivät mieluisamman kukkakasvin, josta siirtyivät keräämään siitepölyä ja mettä. Pölytyspalvelujen riskinä onkin palvelun ostajalle se, että pölyttämään tuodut mehiläiset

kiinnostuvat jostain toisesta samaan aikaan kukkivasta kasvista ja siirtyvät pölyttämään tätä (Myller 2020).

4.3. Värimorsingolla vierailevat pölyttäjähyönteiset

Pölyttäjätarkkailussa kukkakärpäset olivat ylivoimaisesti eniten tavattu ryhmä värimorsingon kukilla niitä ollessa liki 60 % kaikista tavatuista pölyttäjistä. Toiseksi yleisin ryhmä oli tarhamehiläiset, jotka käsittivät noin viidenneksen kaikista.

Kuudes ja viimeinen tutkimukselle asettamani hypoteesi oli, että värimorsingoilla tavattavissa pölyttäjähyönteisissä korostuvat kukkakärpäset ja mesipistiäiset, kuten tarhamehiläiset, kimalaiset ja erakkomehiläiset. Kukkakärpäsiä ja mesipistiäisiä odotettiin näkyvän paljon värimorsingon kukkien värityksen takia. Kukkien väri on tärkeä houkutin pölyttäjillä ja keltainen väri on yksi kukkakärpästen suosima väri ravintoa etsiessä (Willmer 2011). Mesipistiäiset pystyvät erottamaan vain tiettyjä värejä, joista keltainen on yksi (Frisch 1914; Kugler 1943). Kun mesipistiäiset oppivat keräämään ravintoa tietynvärisistä kukista, ne eivät enää siirry vierailemaan erivärisillä kukilla (Free 1970). Myös mesipistiäiset suosivat keltaisenvärisiä kukkia (Willmer 2011) ja koska värimorsinkopellot olivat tarhamehiläispesien välittömässä läheisyydessä, uskottiin etenkin tarhamehiläisiä näkyvän paljon värimorsinkojen kukilla.

Hypoteesi toteutui osittain, sillä kukkakärpäset ja tarhamehiläiset kattoivat lähes 80 % kaikista värimorsingoilla vierailleista pölyttäjähyönteisistä, mutta kimalaisia ja erakkomehiläisiä tavattiin värimorsingon kukinnoilla vain yksittäisiä.

Kimalaisia tavattiin vain yksi yksilö pölyttäjätarkkailua tehdessä, joka oli todella yllättävää, sillä värimorsinkopeltojen linjalaskennoissa kimalaiset olivat toiseksi yleisin laji heti tarhamehiläisten jälkeen. Syy kimalaisten vähäisyyteen voi johtua kimalaisten ja värimorsingon morfologiasta. Värimorsingon kukka on pieni, se on 0,5 cm leveä ja sen terälehdet ovat 3-4 mm pitkiä (Luontoportti, 2021b). Osa kimalaislajeista ovat pitkäkielisiä (Willmer 2011) ja pitkäkielisille kimalaislajeille pieni värimorsingon kukka ei välttämättä ole kiinnostava, varsinkaan jos lähistöllä on muita kukkakasveja. Kimalaisten yleensä suosimat kukat ovat melko suuria ja kellomaisia (Willmer 2011). Kimalaisten vähäisen osuuden pölyttäjätarkkailussa voi siis selittää se, etteivät värimorsingon kukat ole houkuttelevia kasveja kimalaisille.

Toinen syy kimalaisten vähäisyyteen voi johtua säätilasta, tosin tämä hypoteesi perustuu pelkästään kenttäkokeen yhteydessä tehtyihin havaintoihin. Linjalaskennat ja pölyttäjätarkkailu tehtiin Suomen Luonnonvarakeskuksen kimalaisten linjalaskentaohjeiden (Heliölä, 2020) mukaisten sää- ja kellonaikavaatimusten mukaisesti. Kesäkuussa 2020 lämpötilat kello 10-17

välillä saattoivat kuitenkin olla jopa liian kuumat pölyttäjille. Vaikka pölyttäjälajeja tavattiin laaja kirjo kasvukauden aikana, näköhavaintojen perusteella myöhempään illalla lämpötilan jo laskettua, pölyttäjiä näkyi koepelloilla aamu- ja iltapäivää enemmän. Etenkin kimalaisia näkyi värimorsinkojen kukinnoissa tällöin huomattavasti enemmän. Kimalaisille lämpimän ja kuivan sään pitäisi kuitenkin olla ihanteellinen siitepölyn keräämiselle (Peat & Goulson 2005).

Perhosia havaittiin pölyttäjätarkkailussa yhteensä vain kolme. Tämä oli odotettavissa, sillä pitkäimukärsäisten perhosten ei odotettu olevan kiinnostuneita värimorsingon pienistä kukista, vaikka värimorsinkojen keltainen on yksi perhoset suosimista väreistä (Willmer 2011).

5. Johtopäätökset

Tulokset osoittavat, että värimorsinko tuottaa suurimman sadon hyönteisten suorittaman ristipölytyksen alaisena, mutta värimorsingon on myös mahdollista tuottaa satoa täysin ilman pölyttäjähyönteisiä. Hyönteispölytytteisten värimorsinkojen tuottaessa suurimman sadon ja mehiläisten muodostaessa viidenneksen värimorsingoilla tavatuista pölyttäjähyönteisistä, voidaan pölytyspalveluiden käyttöä perustellusti suositella värimorsingon viljelijöille. Arviota siihen, kuinka monta tarhamehiläispesää hehtaaria kohden värimorsinko tarvitsee parhaimman mahdollisen sadon tuottamiseen, tämä tutkimus ei pysty antamaan, vaan tarjoaa hyvän mahdollisuuden lisätutkimusta varten.

6. Kiitokset:

Tämäkään työ ei olisi ilman apua syntynyt. Haluisin kiittää ohjaajiani Eeva-Liisa Korpelaa, Satu Ramulaa ja Iryna Herzonia rakentavasta palautteesta ja erinomaisista kommenteista, mitä olen saanut työtä tehdessäni. Erityisesti haluisin kiittää Eeva-Liisa Korpelaa ja Suomen Mehiläishoitajain Liittoa kenttäkokeen mahdollistamisesta ja Satu Ramulaa, joka auttoi minua kaikissa poikkeusajan tuomissa lisähaasteissa. Kiitokset myös Natural Indigo Finland Oy:n Pasi Ainasojalle ja Vääräkankaan Hunajan Kari Vääräkankaalle. Lisäksi haluisin kiittää Anna-Elina Karimaata pölytyshäkkien lainasta ja veljeni Ville Kaakista auton lainaamisesta kenttäkokeiden ajaksi. Ilman sitä, matkani olisivat taittuneet hitaasti ja yöni Nivalassa olisivat olleet kylmiä.

7. Lähdeluettelo:

Beggs KT, Glendining KA, Marechal NM, Vergoz V, Nakamura I, Slessor KN & Mercer AR. (2007) Queen pheromone modulates brain dopamine function in worker honey bees. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America* 104:2460-2464

Cresswell JE (2011) A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. *Ecotoxicology* 20:149-157

Eilers EJ, Kremen C, Greenleaf SS, Garber AK & Klein AM (2011) Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *Plos One* 0021363

Engelsdorp D, Evans JD, Saegerman C, Mullin C, Haubruge E, Nguyen BK, Frazier M, Cox-Foster D, Chen Y, Underwood RM, Tarpy DR & Pettis JS. (2009) Colony collapse disorder: A Descriptive study. *Plos One* 0006481

Engelsdorp D, Hayes J, Underwood RM & Pettis J (2008) A survey of honey bee colony losses in the U.S., fall 2007 to spring 2008. *Plos One* 0004071

Evans JO, Gunnell RW (1982) An evaluation of control strategies for dyers woad in crop and rangelands. *Proceedings Western Social Weed Science* 35:32-33

Forgacs E, Cserhati T & Oros G (2004) Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment International* 30: 953-971

Free JB (1970) *Insect pollination of crops.* s. 5-64, 135-150. Academic press, Lontoo ja New York.

Frisch K (1914) Der farbensinn und formensinn der biene. *Zoologische Jahrbrucher* 35:1-88 (Free JB (1970) *Insect pollination of crops.* s. 5-64 mukaan)

Garibaldi LA, Saez A, Aizen MA, Fijen T & Bartomeus I (2019) Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology* 57:664-670

Gilbert KG & Cooke DT (2001) Dyes from plants: Past usage, present understanding and potential. *Plant Growth Regulation,* 34:57-69

Gilbert LE (1972) Pollen feeding and reproductive biology of *Heliconius* butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 69: 1403-1407

Haarto A & Kerppola S (2007) *Suomen kukkakärpäset ja lähialueiden lajit.* s. 16-17 ja 23. Otavan kirjapaino, Keuruu

Hamburger M (2002) From the rediscovery of an ancient medical plant towards a novel anti-infamatory phytopharmaceutical. *Phytochemistry Reviews* 1:333-344

Hannusas S & Raitio S (1997) *Morsinkovärjäys- historiaa ja kokeiluja.* s. 7-17. Gummerus kirjapaino Oy, Saarijärvi

Heliölä J (2020) Ohje kimalaisten seurantaan linjalaskennalla. Suomen ympäristökeskus

Hickman JM, Lövei GL & Wratten SD (1995) Pollen feeding by adults of the hoverfly *Melanostoma fasciatum (Diptera: Syrphidae)*. *New Zealand Journal of Zoology* 22: 387-392

Holloway BA (1976) Pollen-feeding in hover-flies (*Diptera: Syrhidae*). *New Zealand Journal of Zoology* 3: 339-350

Ilmatieteen laitos (2020) Havaintojen lataus, Ylivieskan lentokenttä <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ilmatieteen laitos (2021) Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>

IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, Bonn, Saksa. 552s.

Kalyani DC, Telke AA, Dhanve RS & Jadhav JP (2009) Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated *Pseudomonas* sp. SUK1. *Journal of Hazardous Materials 163: 735-742*

Keskitalo M, Ketoja E, Konturi M & Korpela S (2007) Hyönteispölyttäjien puute vähentää tattarin satoa. *Koetoiminta ja käytäntö* 64:19-21

Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C & Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274:303-313

Korpela S (1988) The influence of honeybee pollination on turnip rape (*Brassica campestris*) yield and yield components. *Annales Agriculturae Fenniae* 27:295-303

Kropp BR, Hansen DR & Thomson SV (2002). Establishment and dispersal of *Puccinia thlaspeos* in field population on dyer's woad. *Plant Disease* 86: 241–246

Kugler H (1943) Hummeln als blutenbesuchen. *Ergebn. Biol.* 19:143–323 (Free JB (1970) *Insect pollination of crops* s. 5-64, 135-150 mukaan)

Kuurma K & Pakarinen L (1961) *Nykyaikainen mehiläistenhoito*. Otava, Helsinki. s. 31-34

Kyllönen T (2018) Effects of pollination on pod distribution in fabe bean (*Vicia faba* L.). *Helsingin yliopisto*

Larson BMH, Kevan PG & Inouye DW (2001) Flies and flowers: taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. *The Canadian Entomologist* 133:439-465

Linder HP (1998) Morphology and the evolution of wind pollination. *Reproductive Biology*. 123-135 (Willmer (2011) *Pollination and floral ecology* s. 55-87 mukaan).

Luonnonvarakeskus (2016) Maatalouden ekosysteemipalvelut <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/maatalous-ja-maaseutu/maatalouden-ekosysteemipalvelut/> [Luettu 26.3.2021]

Luontoportti (2021) Morsinko <https://www.luontoportti.com/suomi/fi/kukkakasvit/morsinko> [Luettu 2.1.2021]

Luontoportti (2021) Tattari <https://www.luontoportti.com/suomi/fi/kukkakasvit/viljatatar> [Luettu 11.4.2021]

Maugard T, Enaud E, Choisy P & Legoy MD (2001) Identification of an indigo precursor from leaves of *Isatic tinctoria* (woad). *Phytochemistry* 58:897-904

Memmott J, Graze PG, Waser NM & Price MV (2007) Global warming and the distribution of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters* 10:710-717

Myller S (2020) Kukkia ja mehiläisiä- Pölytyspalveluiden tuotteistaminen. *Savonia-ammattikorkeakoulu*

Parkkinen S, Paukkunen J & Teräs I (2018) *Suomen kimalaiset*. Docendo Oy, Jyväskylä s. 8-14, 43-44

Peat J & Goulson D (2005) Effects of experience and weather on foraging rate and pollen versus nectar collection in the bumblebee, *Bombus terrestris. Behavioral Ecology and Sosiobiology* 58:152-156

Peltotalo P (2010) Pölytysopas <https://1591903.166.directo.fi/@Bin/bb667e3c116342f5c07957557b986c40/1610824267/application/pdf/2303816/SML_P%c3%b6lytysopas_2010_Peltotalo.pdf> [Luettu 10.1.2021]

R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Wien, Itävalta. https://www.R-project.org/

Reddi CS & Bai GM (1984) Butterflies and pollination biology. *Proceedings: Animal Sciences* 93: 391-396

Rosenkranz P Aumeier P & Ziegelmann B (2010) Biology and control of *Varroa estructror*. *Journal of Invertebrate Pathology* 103:96-119

Rueppell O, Bachelier C, Fondrk MK & Page RE (2007). Regulation of life history determines lifespan of worker honey bees (*Apis mellifera L.*). *Experimental Gerontology* 42:1020-1032

SAS Intitute Inc. (2019) SAS Enterprise Guide 7.1. Gary, Pohjois-Carolina, Yhdysvallat.

Siitonen J (2010) Uutto-olosuhteiden vaikutus kasviperäisen indigon saantoon. *Lappeenrannan teknillinen yliopisto*

Spataro G & Negri V (2008). Adaptability and variation in *Isatis tinctoria L*: a new crop for Europe. *Euphtica* 163: 89-102

Spataro G & Negri V (2008). Assessment of the reproduction system of *Isatis tinctoria L. Euphytica* 159: 229-231

Steffan-Dewenter I & Kuhn A (2003) Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society B* 270: 569-575

Suomen lajitietokeskus (2019a) Aitomehiläiset <https://laji.fi/taxon/MX.53566> [Luettu 20.1.2021]

Suomen lajitietokeskus (2019b) Kimalaiset <https://laji.fi/taxon/MX.53474> [Luettu 20.1.2021]

Suomen lajitietokeskus (2019c) Värimorsinko <https://laji.fi/taxon/MX.38371> [Luettu 27.12.2020]

Suomen mehiläishoitajain liitto (2019) Mehiläinen-lehti https://1579052.166.directo.fi/@Bin/45e1ceca78cc90d5a14a896bfbd9933b/1611093918/application/pdf/6721328/Mehil%c3%a4isrotujen%20valitseminen.pdf

Suomen mehiläishoitajain liitto (2021a) Mehiläisten merkitys <https://www.hunaja.net/mehilaiset-ja-muut-polyttajat/mehilaisten-merkitys/> [Luettu 10.1.2021]

Suomen mehiläishoitajain liitto (2021b) Pölytyksen merkitys ja pölytyspalveluista sopiminen <https://www.polytys.fi/polytyksen-merkitys-ja-polytyspa/> [Luettu 13.1.2021]

Suomen perhostutkijain seura ry (2021) Suomen perhoset <http://www.perhostutkijainseura.fi/fi/Perhoset.html> [Luettu 13.1.2021]

Svendsen O (1987) Binas betydelse för bärondlingen. *Bitidningen* 87:233-237 (Peltotalo P (2010) Pölytysopas mukaan)

Toratti S (2018) Hyönteispölytyksen vaikutus tattarin satoon. *Helsingin yliopisto*

Työterveyslaitos (2020) Aniliini <http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fi&p_card_id=0011&p_version=2> [Luettu 28.12.2020]

Vanbergen AJ (2013) Threats to an ecosystem service: pressures to pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11:251-259

Wang Y, Zhang D, Renner S & Chen Z (2004) A new self-pollination mechanism. *Nature* 431: 39–40

Weaver N (1955) Rearing honeybee larvae on royal jelly in the laboratory. *Bee World* 36:157-159

Wilcock C & Neiland R (2002) Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends in Plant Science* 7: 270-277

Williams PH & Osborne JL (2009) Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. *Apidologie* 40:367-387

Willmer P (2011) *Pollination and floral ecology.* s. 3-8, 304-336 ja 378-417. Princetown University Press, New Jersey

8. Liitteet

Liite 1. Pääkoepellon linjalaskentoja ennen ja jälkeen kirjatut säätilat

	11.6.	**13.6.**	**15.6.**	**22.6.**	**25.6.**
Kello alussa	12.55	10.48	12.13	10.55	10.35
Kello lopussa	13.51	11.29	12.58	11.51	11.25
Lämpötila alussa (C°)	22	18	25	21	24.5
Lämpötila lopussa (C°)	23.5	18.5	27	23	27
Pilvisyys alussa (0-8)	0	0	1	0	0
Pilvisyys lopussa (0-8)	1	0	1	0	0
Tuulisuus alussa (0-6)	1	0	3	2	1
Tuulisuus lopussa (0-6)	3	1	4	3	1

Liite 2. Laskentalinjoilla 4-8 havaitut kukkivat kasvit

	Linja 4	Linja 5	Linja 6	Linja 7	Linja 8
Heinätähtimö		x			
Hierakka ssp.	x	x	x	x	
Hiirenvirna		x	x		x
Keltano sp			x		
Koiranputki			x		x
Luhtalemmikki		x			
Maitohorsma		x	x	x	
Matara sp			x	x	
Mesiangervo	x	x	x	x	
Mesimarja				x	
Metsäapila		x	x		
Niittynätkelmä					x
Nokkonen		x			
Ohdake ssp.		x	x		x
Ojakellukka	x	x		x	
Peltolemmikki			x		
Peltopähkämö			x		
Peltosaunio	x	x			
Pihatähtimö			x		

Puna-apila	x		x		x	
Päivänkakkara	x					
Rönsyleinikki/Peltoleinikki	x	x	x	x	x	
Siankärsämö	x	x	x		x	
Valkoapila			x			
Voikukka	x	x		x	x	
Vuohenputki		x				

Liite 3. Kaikki linjalaskennoissa tavatut pölyttäjähyönteiset linjoittain

Linja	Kukka-kärpäset	Muut kaksisiipiset	Tarha-mehiläiset	Kima-laiset	Erakko-mehiläiset	Perhoset	Mehiläis-pesä	Värimorsinko-pelto
Linja1	15	3	16	8	1	5	X	X
Linja2	19	0	15	13	2	2	X	X
Linja3	25	2	25	7	1	8	X	X
Linja4	5	1	0	3	0	14	X	
Linja5	10	0	1	5	1	17	X	
Linja6	13	3	5	1	0	32	X	
Linja7	14	4	2	2	0	18	X	
Linja8	31	3	12	2	1	22	X	
Linja9	16	1	4	13	0	15	X	X
Linja10	6	1	8	2	0	3	X	X
Linja11	16	5	4	10	3	4		X
Linja12	4	1	3	16	1	2		X