

TAUDINKESTÄVYYDELTÄÄN EROAVIEN OHRALAJIKKEIDEN SATOVASTE FUNGISIDIKÄSITTELYLLE

Kalle Ohralahti
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvinviljelytiede
Huhtikuu 2013

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous- metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Maataloustieteiden laitos
Tekijä/Författare – Author Kalle Ohralahti		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Taudinkestävyydeltään eroavien ohralajikkeiden satovaste fungisidikäsittelylle		
Oppiaine /Läroämne – Subject Kasvinviljelytiede		
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika/Datum – Month and year Huhtikuu 2013	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 40+4
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Ohra on Suomessa peltopinta-alaltaan eniten viljelty viljakasvi. Ohralla on useita satoa alentavia kasvitauteja, kuten verkkolaikku, rengaslaikku ja härmä. Kasvitautilien esiintymisrunsauteen vaikuttavat kasvukauden sääolot ja lajikkeen taudinalttiisuus. Kasvitauteja torjutaan puhtaalla kylvösiemenellä, kylvösiemenen peittauksella, kasvinvuorotuksella, fungisidikäsittelyllä sekä viljelemällä taudinkestäviä lajikkeita. Verkkolaikku aiheuttaa vihreän lehtialan vähenemistä, tuhannen jyvän painon pienenemistä ja siten satotappioita.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin fungisidikäsittelyn vaikutusta ohran satovasteeseen, kun lajikkeet ovat joko alttiita tai kestäviä verkkolaikkuja vastaan. Aineistona käytettiin Kasvinsuojelun kannattavuus -koesarjaa. Kenttäkokeet toteutettiin kolmella eri koepaikalla vuosina 2006–2009. Kokeiden lajikkeet jaettiin verkkolaikun kestävyuden perusteella alttiiseen ja kestävään lajikeryhmään. Fungisidikäsittely tehtiin lippulehtivaiheessa kertaruiskutuksena Acanto Prima -valmisteella.</p> <p>Lajikeryhmät erosivat toisistaan merkitsevästi verkkolaikun esiintymismäärässä. Fungisidikäsittely vähensi verkkolaikun esiintymistä enemmän alttiissa lajikeryhmässä, mutta kestävässä lajikeryhmässä verkkolaikku esiintyi selvästi vähemmän. Kestäväällä lajikeryhmällä verkkolaikku esiintyi vähän myös ilman fungisidikäsittelyä.</p> <p>Tutkimuksissa havaittiin, että kestäväällä lajikeryhmällä oli parempi sato, mutta alttiilla lajikeryhmällä oli parempi satovaste fungisidikäsittelylle. Satovaste oli alttiissa lajikeryhmässä keskimäärin 400 kg/ha ja kestävässä lajikeryhmässä noin 200 kg/ha. Sadonlisäys johtui kohonneesta tuhannen jyvän painosta. Taudinkestävä lajikkeen sato on varmempi myös korkeassa tautipaineessa. IPM-viljelyssä kestävä lajikkeen viljeleminen on yksi keino vähentää kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Verkkolaikun taudinaiheuttajasiemenen muuntumiskyvyn vuoksi tarvitaan jatkuvasti uusien kestävien lajikkeiden jalostamista.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords ohra, verkkolaikku, fungisidi, taudinkestävyys, satovaste		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Maataloustieteiden laitos, Viikin kampuskirjasto		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Työn ohjaajat: Marja Jalli, Erja Huusela-Veistola ja Pirjo Mäkelä		
Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences

Tekijä — Författare — Author Kalle Ohralahti		
Työn nimi — Arbetets titel — Title Yield response to fungicide treatment of barley varieties with different disease resistance		
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop Science		
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis	Aika — Datum — Month and year April 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 40+4
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Barley is the most cultivated cereal in acreage in Finland. Barley has many plant diseases that cause yield reductions like net blotch, scald and mildew. The weather conditions and the disease resistance of the cultivar are affecting the appearance of the plant diseases. Plant diseases can be controlled by certified seed, seed treatment, crop rotation, fungicide treatment and by cultivating resistant cultivars. Net blotch causes reduction in green leaf area, thousand grain weight and thereby it reduces yield.</p> <p>The aim of this study was to study what is the yield response of barley to fungicide treatment when cultivars are either susceptible or tolerant to net blotch. The data of this study was based on The profitability of plant protection -trial series. The field trials were conducted at three locations in Finland during 2006–2009. The cultivars in the trials were divided based on their net blotch resistance to susceptible and tolerant groups. Fungicide treatment was made with Acanto Prima as a single treatment at the flag leaf stage.</p> <p>Tolerant and susceptible groups differed significantly in the amount of the net blotch. Fungicide treatment decreased the appearance of net blotch more in the susceptible group although the amount of net blotch was significantly less in the tolerant group. In the tolerant group the disease level was low even before the fungicide treatment.</p> <p>The conclusions of this study were, that tolerant cultivar group had better yield, but susceptible cultivar group had better yield response to the fungicide treatment. The yield response was in average 400 kg/ha in the susceptible and about 200 kg/ha in the resistant cultivar group. The yield response was due to the higher thousand grain weight. The yield security of disease resistant cultivar is better also in higher disease pressure. Resistant cultivar is one way to reduce the usage of plant protection products in IPM farming. Breeding of resistant cultivars is needed because the plant diseases are altering in their disease infection capability.</p>		
Avainsanat — Nyckelord — Keywords barley, net blotch, fungicide, disease resistance, yield response		
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library		
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Marja Jalli, Erja Huusela-Veistola and Pirjo Mäkelä		

Sisällys

1 JOHDANTO	5
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	6
2.1. Ohran sadonmuodostus	6
2.2. Ohran kasvitautit	7
2.3. Lajikkeen taudinkestävyys	10
2.4 Fungisidit kasvitautien torjunnassa	11
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	12
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	13
4.1 Koeympäristö ja koejärjestelyt	13
4.2 Lajikkeet ja niiden taudinkestävyys	14
4.3 Fungisidikäsittely	15
4.3 Havainnot ja analyysit	16
4.4 Kasvukauden sääolot	17
4.5 Tilastanalyysit	18
5 TULOKSET	18
5.1. Verkkolaikun esiintyminen kasvustossa	18
5.2 Sato ja sen laatu	20
6 TULOSTEN TARKASTELU	23
6.1 Vuoden ja koepaikan vaikutus satovasteisiin	25
6.2. Fungisidikäsittelyn vaikutus satoon	27
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
8 KIITOKSET	33
9 LÄHTEET	33
LIITE 1: Lisätietoa lajikkeista	41
LIITE 2. Tilastollisen analyysin tekijät	43
LIITE 3. Tilastollisten analyysien yhteenvetotaulukko	44

1 JOHDANTO

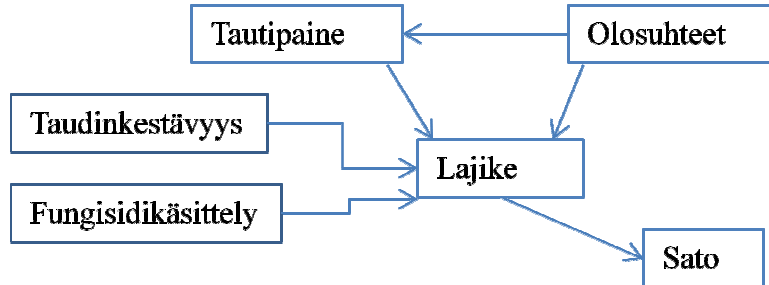
Viljoista ohraa (*Hordeum vulgare L.*) viljellään Suomessa eniten. Vuonna 2012 ohran viljelyala oli noin 500 000 hehtaaria, joka on noin viidesosa koko maatalousmaasta. Mallasohraa siitä oli 400 000 hehtaaria ja loput rehuohraa. Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana ohran viljelyala on vaihdellut 500 000 ja 600 000 hehtaarin välillä (Tike 2013). Ohran suurimpia käyttökohteita ovat rehu-, panimo- ja elintarviketeollisuus, ja näitä erilaisia käyttökohteita varten viljellään useita ohralajikkeita.

Ohran tärkeydestä johtuen uusien lajikkeiden jalostamiseen on panostettu paljon myös Suomessa. Jalostuksen tavoite on ollut saada satoisia ja viljelyvarmoja lajikkeita, jolloin myös taudinkestävyys on ollut yksi jalostustavoite. Taudinkestävyys ja satoisuus eivät välttämättä esiinny samassa lajikkeessa, sillä taudinkestävyys voi rajoittaa satopotentiaalia. Kaikkiaan vuonna 2012 Eviran lajikeluettelossa oli 75 ohralajiketta (Evira 2012).

Lehtilaikkutaudit pienentävät ohran yhteyttävää lehtipinta-alaa ja voivat runsaana esiintyessään aiheuttaa satotappioita. Kasvitaudeista verkkolaikku (*Pyrenophora teres Drechsler*), rengaslaikku (*Rynchosporium secalis Oudem*) ja härmä (*Blumeria graminis sp. hordei Machal*) ovat Suomessa haitallisimpia ohralajikkeilla esiintyviä ja satoa alentavia lehtilaikkutauteja. Niitä esiintyy Suomessa yleisesti etenkin viileinä ja kosteina kesinä. Ohralajikkeet eroavat toisistaan taudinkestävyudessa, joten osa lajikkeista kestää paremmin verkkolaikkua ja toiset lajikkeet ovat sille alttiita. Tutkielmassa tarkastellaan ohraa ja verkkolaikkua, joka on Suomessa yleisin ohralajikkeilla esiintyvä lehtivioitusta aiheuttava kasvitauti.

Kasvukauden olot (lämpötila, kosteus, maaperä) vaikuttavat sekä ohralajikkeen kasvuun että vuosittain vallitsevaan tautipaineeseen (Kuva 1). Kasvitautilien esiintyminen vaatii taudin kehittymiselle sopivat olosuhteet, taudinaiheuttajan ja taudille oikean isäntäkasvin. Kestävyys verkkolaikkua vastaan on lajikekohtainen ominaisuus, joka pienentää taudin mahdollisuutta infektoida kasvi. Lajikkeella on geneettisesti määräytyvä satopotentiaali ja ulkoiset tekijät joko lisäävät tai vähentävät satoa.

Fungisidikäsitteily on yksi keino vaikuttaa satoon. Muita ulkoisia tekijöitä ovat muun muassa maanmuokkaus, lannoitus ja rikkakasvitorjunta.



Kuva 1. Tutkimuksen viitekehys.

Lehtilaikkutautien torjumiseen käytetään yleisimmin fungisideja, jotka joko estävät lehtilaikkutaudin leviämistä kasvustoon tai tuhoavat taudinaiheuttajan. Kasvinsuojeluaineiden tehokkuutta ja lajikkeiden viljelyominaisuuksia sekä kestävyyttä kasvitaudeille on tutkittu paljon viljoilla. Kasvinsuojelun satovasteita on tutkittu paljolti vain vuosi- ja lajikekohtaisesti, mistä johtuen tarvitaan lisää tietoa vaihtelevien olojen kokonaisvaikutuksista. Tässä tutkielmassa keskityn ohran taudinkestävyteen ja käsittelen kasvinsuojelun vaikutusta ohran satovasteeseen. Tutkielmassa on mukana yksi fungisidi ja useita lajikkeita, jotka on luokiteltu taudinkestävyydeltään kestäviin ja alttiisiin lajikkeisiin. Tutkielmassa selvitetään, millainen satovaste kasvinsuojelukäsittelyllä saadaan taudinkestävyydeltään eroavilla ohralajikkeilla. Lisäksi tarkastellaan kasvinsuojelukäsittelyn vaikutusta sadon laadullisiin ominaisuuksiin.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1. Ohran sadonmuodostus

Ohran kehitys jakautuu alun vegetatiiviseen vaiheeseen, joka alkaa jyvän itämisestä ja kestää kukka-aiheiden erilaistumiseen asti. Toinen vaihe on suvullinen vaihe, jonka aikana määräytyy tähkylöiden ja versojen lukumäärä. Osa tähkylöistä ja versoista kuolee suvullisen vaiheen aikana. Suvullisen vaiheen lopussa hedelmöittyneiden

kukkien lukumäärä määrää kehittyvien jyvien lukumäärän ja ohra tulee tähkälle. Viimeisessä vaiheessa tapahtuu jyvien täytyminen, jossa yhteyttämistuotteet varastoidaan jyviin. Lopulliseen jyväpainoon vaikuttaa yhteyttämistuotteiden määrä kasvissa ja niiden jakautuminen kehittyneisiin jyviin ja muihin kasvin osiin. Jyvätäyttymisen kestoon vaikuttavat lähinnä sääolot (del Moral ym. 2002).

Viljojen sato muodostuu viiden satokomponentin muodostamasta summasta. Ohran satokomponentit ovat oraiden, versojen ja tähkien lukumäärä neliömetrillä sekä jyvien lukumäärä tähkässä ja jyvän paino. Satokomponenttien muodostumiseen ja kehittymiseen vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten valo, lämpö, vesi ja ravinteet. Näiden lisäksi kasvitaudit ja kasvintuhoojat vaikuttavat negatiivisesti satokomponentteihin (del Moral ym. 2002).

2.2. Ohran kasvitaudit

Ohranverkkolaikku on Suomessa rengaslaikun ohella eniten ohran satoa alentava kasvitauti. Vuonna 2009 verkkolaikkua esiintyi 86 %:lla tutkituista 107 ohralohkosta (Jalli ym. 2011). Verkkolaikkua esiintyy maailmanlaajuisesti, mutta erityisesti lauhkealla vyöhykkeellä joka sijaitsee napapiirin ja 40 leveysasteen välissä molemmilla pallonpuoliskoilla. Suuri sadanta ja ilmankosteus luovat verkkolaikulle parhaat kasvuolosuhteet. Tautiriski kasvaa, kun ohraa viljellään samalla lohkolle useana vuonna peräkkäin, koska taudinaiheuttajasienet säilyvät pellolla kasvijätteessä jopa kahden kasvukauden ajan (Steffenson 1997). Taudinaiheuttajat voi hävittää kyntämällä kasvijätteen maahan. Verkkolaikku leviää lisäksi myös kylvösiemenen mukana, jolloin tautia esiintyy jo orastumisvaiheessa. Siemenlevintäistä verkkolaikkua voidaan torjua siemenen peittämisellä (Steffenson 1997). Ohra on alttein verkkolaikkutartunnalle siemenvaiheessa, joten verkkolaikun määrä muodostuu suureksi tartunnan tullessa siemenestä tai kasvijätteestä (Douiyssi 1998).

Verkkolaikusta esiintyy verkkomuotoa (*P. teres f. teres* Drechsler) ja laikkumuotoa (*P. teres f. maculata* Smedeg), joilla on erilaiset oireet (Kuva 2). Osa tautikannoista saattaa muodostaa varsinkin kestäväällä lajikkeella vain vähäistä nekroosia ja kloroosia. Verkkolaikku leviää lehden laikuissa kehittyvien itiöiden avulla sairaista kasveista

terveisiin kasveihin tuulen mukana laajalle alalle tai sadepisaroiden mukana alemmille lehdille. Verkkolaikun aiheuttamat satotappiot vaihtelevat tyypillisesti 10–40 % välillä, mutta voivat olla suurempia taudin iskiessä jo korrenkasvun alkuvaiheessa. Optimiolot verkkolaikkuinfektion kehittymiselle ovat yli viisi tuntia kestävä sade, lähes 100 % suhteellinen ilmankosteus ja 15–25°C lämpötila. Korkea typpilannoitus lisää verkkolaikun infektioriskiä (Steffenson 1997).



Kuva 2. Verkkolaikun verkkomuodon tyypillinen oire. (Kuva: Marja Jalli, MTT)

Ohran härmä pystyy infektoimaan vain ohraa, joten härmä ei leviä ohrakasvustoon muista viljoista. Härmää esiintyy yleisimmin lauhkealla vyöhykkeellä, sillä taudin kehittymiselle optimaaliset olojat ovat 15–22 °C lämpötila ja yli 80 % suhteellinen ilmankosteus. Taudin kehittymistä suosii korkea typpilannoitustaso ja tiheä kasvusto. Härmän aiheuttamat satotappiot voivat taudille otollisissa oloissa olla 6–14 %, mutta härmänkestäville lajikkeille ei aiheudu satotappioita. Härmä johtaa soluhengityksen lisääntymiseen ja laskee yhteyttävää lehtialaa, mitkä yhdessä voivat alentaa satoa. Härmä esiintyy lehden yläpinnalla valkoisena nukkana (Kuva 3), josta se leviää tuulen mukana jopa satoja kilometrejä tai vesipisaroiden mukana ympäröiviin kasveihin (Johnston 1997).



Kuva 3. Hämäläisen tyyppillisiä oireita ohralla. (Kuva: Marja Jalli, MTT)

Ohran rengaslaikkua esiintyy maailmanlaajuisesti lauhkealla vyöhykkeellä. Optimiolosuhteiden kehittymiselle ovat 10–18 °C lämpötila ja kostea sää. Oireet näkyvät lehdissä ovaalinmuotoisina vihertävän harmaana ruskeareunaisina renkaina, joita ympäröi kloroottinen alue (Kuva 4). Rengaslaikun itiöt leviävät sadepisaran roiskeiden mukana ympäröiviin kasveihin. Rengaslaikun aiheuttamat satotappiot ovat yleensä alle 10 %, mutta alttiilla lajikkeilla satotappiot voivat olla jopa 40 %. Satotappiot johtuvat tuhannen jyvän painon pienenemisestä (Jackson 1997).



Kuva 4. Rengaslaikun tyyppillisiä oireita ohralla. (Kuva: Marja Jalli, MTT)

2.3. Lajikkeen taudinkestävyys

Verkkolaikunkestävien ohralajikkeiden jalostaminen on tärkeää, koska muut kasvinsuojelukeinot eivät auta kaikissa oloissa, kuten korkeassa tautipaineessa (Buchannon ja McDonald 1965). Verkkolaikun taudinkestävyys vaaditaan erikseen sekä verkko- että laikkumuotoa vastaan. Taudinkestävyys johtuu yhdestä tai useammasta kestävyysgeenistä. Mitä useampaan kestävyysgeeniin lajikkeen taudinkestävyys perustuu, sitä paremmin se kestää taudinaiheuttajapatogeeniä vastaan (Steffenson 1997). Kasvitaudit kuitenkin muuntuvat nopeasti, joten nykyisin kestävät lajikkeet voivat siis tulevaisuudessa olla alttiita muuntuneita tautikantoja vastaan (Wiik ja Ewaldz 2009, Walters ym. 2012).

Lajike voi olla kestävä kasvihuoneoloissa yhtä tautikantaa vastaan, mutta kenttäkestävä lajike on kestävä useampia tautikantoja vastaan pelto-oloissa (Steffenson ja Webster 1992). Ohran viljelyssä lehtilaikkutauteja kestävä lajikkeen valitseminen on tärkeää, sillä säähän ja tautipaineeseen ei voida vaikuttaa, mutta lajikkeen taudinkestävyys vähentää vuosienvälisiä satovaihteluita (Váňová ym. 2006). Toisaalta viljelijä saattaa valita viljeltävän lajikkeen myös laadun tai viljelyominaisuuksien perusteella, jolloin taudinkestävyys ei ole tärkein tekijä, koska kasvitauteja voidaan kontrolloida fungisidikäsitteilyllä (Walters ym. 2012).

Lajikkeen kestävyys kasvitauteja vastaan on suuri etu viljelijälle, koska fungisidikäsitteilyä tarvitaan vain, jos tautipaine ylittää lajikkeen kestävyuden. Kasvitautilien muuntelun vuoksi lajikkeen taudinkestävyys voi heikentyä tai murtua kokonaan, joten tarvitaan jatkuvaa kestävyysjalostusta. Kestävien lajikkeiden jalostaminen vaatii kompromisseja kestävyysgeenien ja samalla siirtyvien muiden geenien kanssa, jotka voivat aiheuttaa alttiutta toista kasvitauteja vastaan tai alemman satopotentialin. Kestävillä lajikkeilla lehtilaikkutautilien oireet eivät näy, niitä on vähemmän tai ne leviävät hitaammin kuin alttiilla lajikkeilla (Johnson 1992). Brownin (2002) mukaan kasvinjalostajille taudinkestävyyttä tärkeämpiä jalostettavia ominaisuuksia ovat sato, laatu ja lujakortisuus. Jalostettu lajike hyväksytään markkinoille, jos se on kohtalaisen taudinkestävä ja kunhan kestävyys ei vaikuta negatiivisesti satoon tai laatuun. Hyvä viljelykierto ja tehokas kasvinsuojelu mahdollistavat myös verkkolaikulle alttiin lajikkeen viljelyn (Jayasena ym. 2002).

Usean ohralajikkeen jalostuksessa on käytetty hyväksi härmänkestävyyden aiheuttavaa Mildew Resistance locus O geeniä (*mlo*). Mlo-resistenssi antaa lajikkeelle vahvan kestävyyden härmää vastaan. Kestävyys kuitenkin aiheuttaa lehdissä nekroosia ja kloroosia ja vähäisiä satotappioita. Härmänkestävyys säilyy, kunhan härmästä ei kehity tautikantaa, jota vastaan mlo-resistenssi ei ole enää kestävä (Jorgensen 1992). Härmänkestävyys vähensi härmän esiintymistä vaihtelevissa oloissa 38–99 % kuitenkin vähentämättä satoa yhtä kestävyysgeeniä lukuun ottamatta. Samoille lajikkeille tehty fungisidikäsitteily vähensi härmän esiintymistä 50–97 % ja lisäsi satoa 11–17 % (Hysing ym. 2012).

Suomessa on otettu käyttöön uusia kestäviä lajikkeita verkkolaikkua vastaan, sillä 90-luvun puolella 60 % käytetyistä lajikkeista oli kestävää Scarlett-lajiketta alttiimpia, mutta 2000-luvulla enää 30 %. Rengaslaikunkestäviä lajikkeita on vain vähän, mutta härmää vastaan on useita täysin kestäviä lajikkeita. Taudinaltteinmat lajikkeet ovat karsiutuneet pois viljelystä. Lajikkeiden erot taudinkestävyudessa näkyvät selvästi etenkin korkeassa tautipaineessa (Jalli ja Vuorinen 2007).

2.4 Fungisidit kasvitautien torjunnassa

Suomessa vuonna 2011 myydyistä kasvinsuojeluaineista herbisidejä oli tehoainemääränä 1450, fungisidejä 170, kasvunsääteitä 60 ja insektisidejä alle 30 tuhatta kg (Tukes 2012). Fungisidejä käytetään kasveilla esiintyvien sienien aiheuttamien kasvitautien torjunnassa. Paveleyn ym. (2001) mukaan fungisidikäsitteily vähentää kasvustossa esiintyvän taudin määrää ja vastaavasti vihreä lehtiala säilyy suurempana kuin ilman käsittelyä. Vihreä lehtiala on samalla kasvin yhteyttävää lehtialaa ja johtaa suurempaan kuiva-ainepitoisuuteen ja satoon. Kasvitautien torjunta on tehtävä fungisidista riippuen joko ennakoivasti tai heti ensimmäisten tautioireiden ilmestyttyä kasvustoon. Fungisidin optimaaliseen käyttöannokseen vaikuttavat fungisidin torjuntateho ja tautipaine (Paveley ym. 2001).

Fungisidit jaetaan niiden biokemiallisen vaikutustavan mukaan 11 luokkaan. Vaikutustapoja ovat muun muassa sienien soluseinän muodostumisen tai soluhengityksen estäminen, solunjakautumisen estäminen ja nukleiini- ja

aminohapposynteesin estäminen. Jokaisessa luokassa on useita tehoaineryhmiä ja tehoaineita, joista taas eri valmisteet koostuvat. Fungisidi voi koostua myös kahdesta tehoaineesta, joilla on erilainen vaikutusmekanismi, jolloin se torjuu myös taudinaiheuttajasientä kahdella eri mekanismilla. Esimerkiksi Acanto Priman tehoaineista pikoksistrobiini estää sienen soluhengityksen ja syprodiniili vaikuttaa aminohappo- ja proteiinisynteesiin (FRAC 2013). Suomessa käytetyistä fungisideista demetylaatio-inhibiittorit (demethylation inhibitors, DMI-yhdisteet) ja morfoliinit estävät soluseinien muodostumista, strobiluriinit estävät soluhengityksen, aliniinopyrimidiinit vaikuttavat aminohappo- ja proteiinisynteesiin ja kloronitriilit vaikuttavat sienessä useisiin kohtiin (Jalli ja Laine 2011).

Fungisidien käyttörajoituksista johtuen on tiedettävä, onko käytetyn valmisteen käyttöä rajoitettu kasvukauden aikana tai peräkkäisinä vuosina. Tämän vuoksi on suositeltavaa käyttää eri tavoin vaikuttavia fungisideja, vaihdella käytettäviä tehoaineita ja käyttää usean tehoaineen seoksia kasvitautien torjunnassa. Lisäksi on noudatettava valmisteen käyttöohjeissa annettua annostusta. Näin vältetään riski fungisidiresistenttien tautikantojen kehittymisestä (FRAC 2010).

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tarkoitus on selvittää taudinkestävyydeltään erilaisten ohralajikkeiden satovastetta fungisidikäsittelylle neljän vuoden aineiston perusteella. Kasvitautien määrä ja sää vaihtelevat vuosittain ja kasvinsuojelun avulla saatu satovaste vaihtelee myös vuosittain. Siksi fungisidikäsittelyn satovastetta tutkitaan pitkällä aikavälillä. Lisäksi pohditaan taudinkestävän ja alttiin lajikkeen valitsemisen merkitystä vaihtelevassa tautipaineessa. Vähäisessä tautipaineessa kestävä lajikkeen fungisidikäsittely tuottaa vain pienen satovasteen, mutta sadon turvaamiseksi alttiit lajikkeet tarvitsevat fungisidikäsittelyn jo matalassa tautipaineessa. Työssä testattiin seuraavia tutkimushypoteeseja:

H1: Taudinkestävyydeltään eroavilla lajikkeilla on erilainen satovaste fungisidikäsittelylle.

H2: Fungisidikäsitteilyllä voidaan estää kasvitaudeista johtuvaa satovasteen pienenemistä.

Tutkimuskysymykset ovat:

Mikä on fungisidikäsitteilyllä saatava satovaste?

Miten satovaste vaihtelee kestäville ja alttiilla lajikkeilla?

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Koeympäristö ja koejärjestelyt

Tutkimuksen aineisto on osa Kasvinsuojelun kannattavuus -hanketta. Hankkeessa selvitettiin kasvinsuojelukäsittelyn kannattavuutta kevätiljoilla vuosina 2000–2010. Koesarjan ovat toteuttaneet yhteistyössä Yara Suomi Oy (ennen vuotta 2007 Kemira Grow-How), Boreal Kasvinjalostus Oy, Nylands Svenska Lantbrukssällskap (NSL) ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). Tämän tutkimuksen aineisto rajattiin vuosina 2006–2009 tehtyihin ohrakokeisiin.

Tässä tutkimuksessa käytettäviä kenttäkokeita oli neljällä eri paikkakunnalla: Västankvarn försöksgård Inkoossa (60°05′ N, 24°017′ E, 10m), Suur-Sarvilahden tila Loviisan Pernajassa (60°45′ N, 26°05′ E, 14m), Yaran Kotkaniemen tutkimusasema Vihdissä (60°417′ N, 24°333′ E, 42m) vuosina 2006–2008, sekä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa (60°803′ N, 23°483′ E, 104m) vuonna 2009.

Koejärjestelynä oli lohkoittain täydellisesti satunnaistettu kenttäkoe kolmella kerranteella. Kasvilajina oli ohra ja lajikkeita oli yhteensä 14. Koemuuttajat olivat kasvitautiltorjunta (fungisidikäsitteily ja käsittelemätön) ja lajikeryhmä (altis ja kestävä). Koeruudun koko oli 10 m². Koealueet ovat olleet kenttäkoetoiminnassa jo usean vuoden ajan ja niillä on noudatettu hyvää viljelykiertoa, joten kasvitauteja ei esiintynyt maaperässä.

4.2 Lajikkeet ja niiden taudinkestävyys

Kokeissa oli mukana Suomessa viljeltäviä 2-tahoisia mallas- ja rehuohralajikkeita (Taulukko 1, Liite 1). Kokeissa käytettiin sertifioituja kylvösiemeniä, joten siemenlevintäistä verkkolaikkua ei esiintynyt. Lajikkeet poikkesivat taudinkestävyydeltään toisistaan ja ne luokiteltiin kestäviin ja alttiisiin lajikkeisiin perustuen verkkolaikun kestävyteen (Taulukko 2). Luokittelu perustui Viljalajikkeiden herkkyys tautitartunnoille virallisissa lajikekokeissa -julkaisussa (Kangas ym. 2009) esitettyihin lajikekohtaisiin verkkolaikun esiintymiskeskiaarvoprosentteihin vuosilta 2002–2009. Esiintymisprosentti perustui verkkolaikun peittämään pinta-alan kasvustossa.

Taulukko 1. Kokeissa olleet ohralajikkeet vuosittain. Lajikeryhmään 1 kuuluvat kestävät ja lajikeryhmään 2 kuuluvat alttiit lajikkeet. Lisäksi myös lajikkeen jalostaja, kauppaa-laskuvuosi ja käyttötarkoitus (Evira 2012).

Lajike-ryhmä	Lajike	2006	2007	2008	2009	Jalostaja	Kauppaa-laskuvuosi	Käyttö-tarkoitus
1	Xanadu	x				Nordsaat Saatzucht GmbH	2007	mallasohra
1	Justina	x	x			Nordsaat Saatzucht GmbH	2006	rehuohra
1	Annabell	x	x			Nordsaat Saatzucht GmbH	2003	mallasohra
1	Calcule		x	x		Boreal Kasvinjalostus Oy	–	–
1	Fairytales			x	x	Sejet Plant Breeding	2009	mallasohra
2	Prestige	x				Monsanto Europe S.A.	2007	mallasohra
2	Barke	x	x	x	x	Saatzucht Josef Breun GmbH & Co. KG	2000	mallasohra
2	Minttu	x	x			Boreal Kasvinjalostus Oy	2005	rehuohra
2	Tocada	x	x	x		KWS Lochow GmbH	2006	rehuohra
2	Beatrix		x			Nordsaat Saatzucht GmbH	2007	rehuohra
2	NFC Tipple		x	x	x	Syngenta Crop Protection A/S	2008	mallasohra
2	Afrodite			x	x	Boreal Kasvinjalostus Oy	–	–
2	Harbinger			x	x	Boreal Kasvinjalostus Oy	2009	mallasohra
2	Rambler			x	x	Boreal Kasvinjalostus Oy	2009	rehuohra

Kestävän ja alttiin lajikeryhmän välinen jako perustui Prestigen kanssa samanlaiseen tai poikkeavaan taudinkestävyteen (Taulukko 2). Kestävän lajikeryhmän pitkän aikavälin keskiarvo verkkolaikun määrälle on 0,7 % ja vastaavasti alttiin lajikeryhmän 2,5 %. Lajikevalikoima vaihteli vuosittain. Vaikka kokeissa on eri vuosina ollut eri lajikkeita, niin lajikekeskiarvot ovat estimoitu tilastollisesti siten, että vuosien tulokset ovat

vertailukelpoisia keskenään. Lajikekeskiarvoon ei vaikuta se, minä vuosina lajike on ollut kokeissa mukana.

Taulukko 2. Verkkolaikun määrä eri lajikkeilla prosentteina. Luvut ovat tautiprosenttien keskiarvoja usealta koepaikalta vuosilta 2002–2009 (Kangas ym. 2009). *Calculen tautiprosentti on 2001–2008 raportista (Kangas ym. 2008).

Kestävä lajikeryhmä	Tauti %	Altis lajikeryhmä	Tauti %
Justina	0,9	Tocada	3,8
Annabell	1,4	Barke	3,9
Xanadu	0,5	Minttu	2,1
Calcule	0,2*	Beatrix	2,6
Fairytale	0,3	Afrodite	1,6
		NFC Tipple	1,7
		Harbinger	1,9
		Rambler	2,7
		Prestige	5,0

4.3 Fungisidikäsitteily

Kokeissa käytetty fungisidi oli strobiluriinien ryhmään kuuluva Acanto Prima (tehoaineina syprodiiniili (30 %, 300 g/kg) ja pikoksistrobiini (25 %, 80 g/kg), sekä muina kemikaaleina 10 % dibutyylinaftaleenisulfidihappoa (sodium-suola) ja 10 % rasvahappoetteriä (sodium-suola). Fungisidin valmistaja on Syngenta Crop Protection AG, Basel, Sveitsi. Ohrakasvustot ruiskutettiin täydellä annoksella, joka on 1–1,25 kg/ha (Taulukko 3). Kokeet ruiskutettiin yhteen kertaan lippulehtivaiheessa BBCH 37–39. Rikkakasvit torjuttiin kertaalleen ohran kasvuasteessa BBCH 21–23. Käytetty valmiste oli Inkoossa Express 50 T (Berner Oy, Suomi) ja Pernajassa sekä Vihdissä Ariane S (Berner Oy, Suomi).

Kokeissa käytetyn Acanto Priman teho perustuu sieni-itiöiden itämisen ja itiöiden kasviin tunkeutumisen estämiseen. Pääasiassa kasvia suojaavan vaikutuksen takia käsittely pitää tehdä ennakkoiden tai heti ensimmäisten tautilaikkujen ilmestyttyä kasvustoon, koska myöhäisempi käsittely ei ole yhtä tehokas. Acanto Prima soveltuu kertaruiskutukseen tai jaettuun käsittelyyn ja sen käyttö on hyväksytty viljoilla useiden

sienitautien torjuntaan. Sen hyväksyty käyttömäärä lehtilaikkutautien torjunnassa on 0,75–1,25 kg/ha. Viljeltäessä kestäviä lajikkeita käyttömäärä voi olla lähempänä alarajan annosta ja alttiilla lajikkeilla vastaavasti käyttömäärän ylärajalla. Kun tautipaine on alhainen, suositellaan alempaa käyttömäärää. Kasvitautilien fungisidiresistenssin muodostumisen ehkäisemiseksi Acanto Prima ja muita strobiluriinivalmisteita ei saa käyttää yli kahta kertaa kasvukaudessa. Tehoaineet ja sen hajoamistuotteet hajoavat hitaasti tai voivat kertyä jatkuvassa käytössä maahan, joten sitä ei saa käyttää samalla lohkolla peräkkäisinä vuosina (Acanto Priman käyttöturvallisuustiedote 2007).

Taulukko 3. Tutkimuksessa olleiden kokeiden viljelytiedot (Västankvarn Försöksgård 2006, 2007, 2008 ja 2009).

Vuosi	Koepaikka	Lannoitus (NPK)	Kylvö	Puinti	Fungisidin käyttömäärä	Käsittelyaika BBCH
2006	Kotkaniemi, Vihti	80-6-9	9.5.2006	16.8.2006	1,25 kg/ha	37-39
2006	Västankvarn, Inkoo	80-6-9	9.5.2006	19.8.2006	1,25 kg/ha	37-39
2006	Suur-Sarvilahti, Pernaja	80-6-9	9.5.2006	16.8.2006	1,25 kg/ha	37-39
2007	Kotkaniemi, Vihti	80-6-9	3.5.2007	6.9.2007	1,25 kg/ha	37-39
2007	Västankvarn, Inkoo	80-6-9	3.5.2007	11.9.2007	1,25 kg/ha	37-39
2007	Suur-Sarvilahti, Pernaja	80-6-9	11.5.2007	24.8.2007	1,25 kg/ha	37-39
2008	Kotkaniemi, Vihti	80-6-9	5.5.2008	20.9.2008	1,0 kg/ha	37-39
2008	Västankvarn, Inkoo	70-5-8	6.5.2008	24.9.2008	1,0 kg/ha	37-39
2008	Suur-Sarvilahti, Pernaja	80-6-9	5.5.2008	17.9.2008	1,0 kg/ha	37-39
2009	MTT, Jokioinen	80-6-9	8.5.2009	3.9.2009	1,0 kg/ha	37-39
2009	Västankvarn, Inkoo	80-6-9	8.5.2009	1.9.2009	1,0 kg/ha	37-39
2009	Suur-Sarvilahti, Pernaja	80-6-9	7.5.2009	2.9.2009	1,0 kg/ha	37-39

4.3 Havainnot ja analyysit

Kaikista kokeissa tehtiin kasvitautilhavainnot ruuduittain maitotuleentumisvaiheessa (BBCH 75). Havainnot tehtiin neljästä ylimmästä lehdestä NIAB:n (The National Institute of Agricultural Botany) asteikolla 1–9 (NIAB 1985), joka muutettiin prosenttiasteikoksi (Taulukko 4). Kokeista havainnoitiin kaikki kokeissa esiintyneet kasvitaudit. Vuonna 2006 Suur-Sarvilahden koe pakkotuleentui ennen havaintojen tekoa eikä havaintoja tehty.

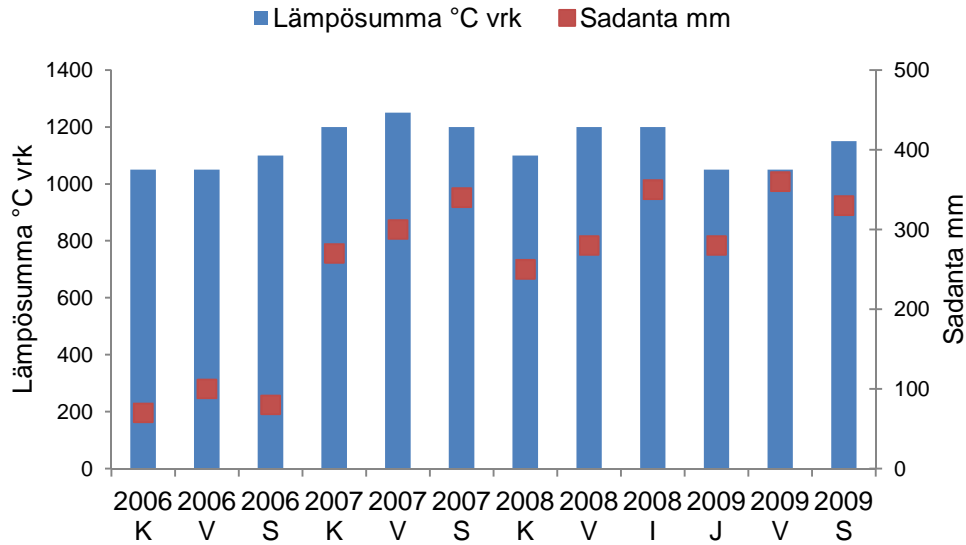
Ruutusadot puitiin, lajiteltiin ja ruutusato punnittiin joka ruudusta 14 % kosteudessa. Tuhannen jyvän paino ja hehtolitraino määritettiin jokaisesta koeruudusta. Sadon valkuais- ja tärkkelyspitoisuus analysoitiin joka vuosi koepaikan kolmen kerranteen yhdistetystä näytteestä keskuslaboratoriossa Jokioisilla.

Taulukko 4. Lehtilaikkutaudit havainnoitiin käyttäen NIAB:n asteikkoa 1–9 (Disease Assessment Manual for Crop Variety Trials), joka kuvaa kasvuston tautisuuden prosentteina (0–100 %) (NIAB 1985).

Asteikko	Tautisuus %	Kuvaus
1	0	ei oireita
2	0,1	1 laikku / 10 versoa
3	1	1 pieni laikku / verso
4	5	2 alimmasta lehdestä 1/4 infektoitunut, muilla lehdillä muutama laikku
5	10	2 alimmasta lehdestä 1/4 infektoitunut, muilla lehdillä useita laikkuja
6	25	lehdistä 1/2 infektoituneita, 1/2 vihreitä
7	50	lehdet enemmän infektoituneita, kuin terveitä
8	75	hyvin vähän vihreää kasvustoa jäljellä
9	100	lehdet kuolleet, ei vihreää jäljellä

4.4 Kasvukauden sääolot

Vuosina 2006–2009 lämpösumma kylvöstä sadonkorjuuseen vaihteli koepaikoilla noin 1050 ja 1250 celsiusasteen välillä (Kuva 5). Lämpösumman pitkäaikainen vuosikeskiarvo (1981–2010) on ollut 1300–1450 celsiusastetta. Vain kesän 2006 kasvukauden aikainen sademäärä oli alle 30 vuoden (1981–2010) keskiarvon (Ilmatieteen laitos 2012).



Kuva 5. Kasvukausien lämpösumma ja sadanta tutkimuksessa mukana olleilta koepaikoilta. (K = Kotkaniemi, V = Västankvarn, S = Suur-Sarvilahti ja J = Jokioinen)

4.5 Tilastanalyysit

Aineisto analysoitiin valitsemalla biometrikon avustuksella tilastollinen malli, joka otti huomioon koeasetelman ja koesarjan kaikki koetekijät (Liite 2). Aineiston vuosi ja koepaikka yhdistettiin olosuhdemuuttujaksi. Olosuhde on satunnaistekijä, joka sisältää 12 ilmasto-oloilta ja tautipaineelta eroavaa olosuhdetta. Jokaisessa olosuhteessa on viljelty kuudesta kahdeksaan lajiketta. Barke oli mukana joka vuosi kontrollilajikkeena. Muut lajikkeet olivat mukana yhdestä kolmeen vuoteen. Lajikkeet analysoitiin kahtena lajikeryhmänä (kestävä ja altis). Kokeiden tulokset on estimoitu kuvaamaan koko lajikeryhmän käyttäytymistä. Aineisto analysoitiin SAS 9.2 ohjelmistolla (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

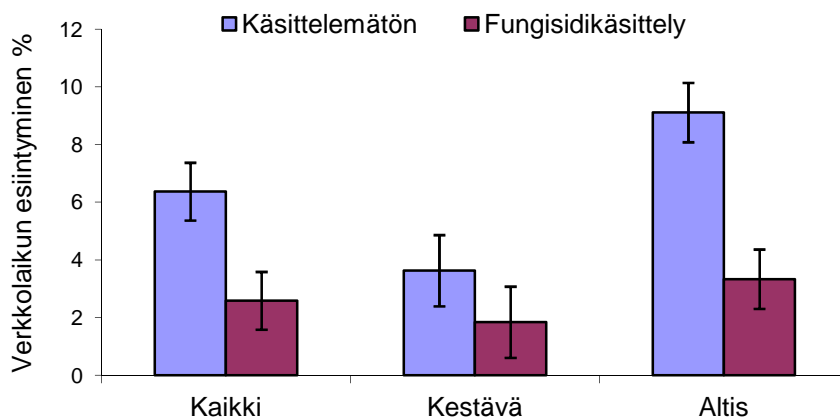
5 TULOKSET

5.1. Verkkolaikun esiintyminen kasvustossa

Neljän vuoden aikana koekasvustoissa havaittiin ohran kasvitaudeista vain verkkolaikkua. Tautipaine oli suurimmillaan vuonna 2009, jolloin osalla altteimmista

lajikkeista verkkolaikkua esiintyi jopa 50 % kasvustossa. Verkkolaikkua esiintyi käsittelemättömissä koejäsenissä vuosina 2006–2009 keskimäärin 1, 5, 7 ja 9 %.

Sekä fungisidikäsitteily että lajikeryhmä vaikuttivat merkitsevästi verkkolaikun määrään ($p < 0,05$) (Kuva 6, Liite 3). Verkkolaikkua esiintyi alttiilla lajikeryhmällä selvästi kestävästä lajikeryhmästä enemmän (Kuva 6). Verkkolaikun esiintyvyys vaihteli myös lajikkeittain, mutta lajikeryhmän sisällä sen esiintyvyys oli samankaltaista. Käsitteilyn ja lajikeryhmän välillä oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ($p < 0,05$). Vaikka fungisidikäsitteily vähensi verkkolaikun määrää molemmissa lajikeryhmissä, käsitteilyn vaikutus alttiissa lajikeryhmässä oli selvempi. Kestävän lajikeryhmän lajikkeilla verkkolaikkua esiintyi ennen fungisidikäsitteilyä vain vähän, ja fungisidikäsitteily vähensi taudin esiintymistä noin puolella. Alttiissa lajikeryhmässä fungisidikäsitteily vähensi verkkolaikun esiintymistä yli 60 %.

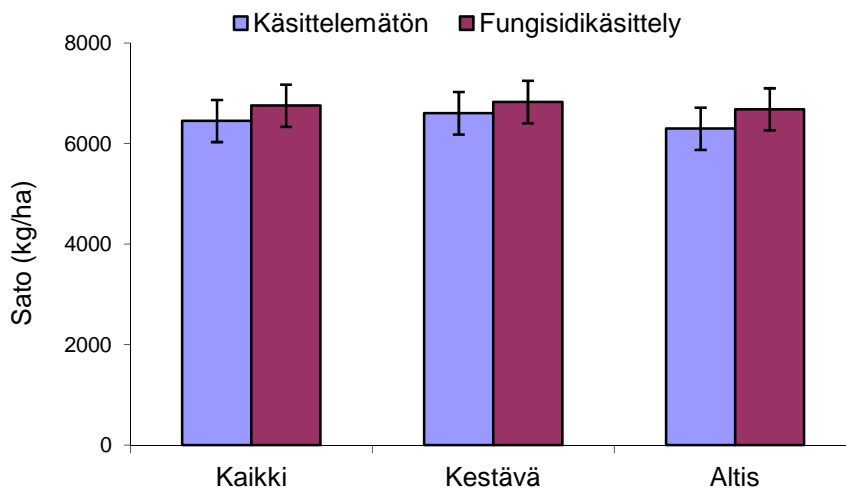


Kuva 6. Kaikkien lajikkeiden ja kahden eri lajikeryhmän keskimääräinen verkkolaikun esiintyminen (% kasvuston pinta-alasta). Palkit ovat estimoituja keskiarvoja \pm SE ($n_{\text{kestävä}}=72$ ja $n_{\text{altis}}=168$).

5.2 Sato ja sen laatu

Aineiston sadot vaihtelivat neljän vuoden aikana noin 4000 ja 8000 kg/ha välillä. Lajikeryhmien välinen satoero oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$) (Liite 3). Kestävän lajikeryhmän sato oli suurempi kuin alttiin lajikeryhmän sekä käsittelemättömänä että käsiteltynä (kuva7). Verkkolaikun torjunta lisäsi satoa merkitsevästi, keskimäärin 300 kg/ha.

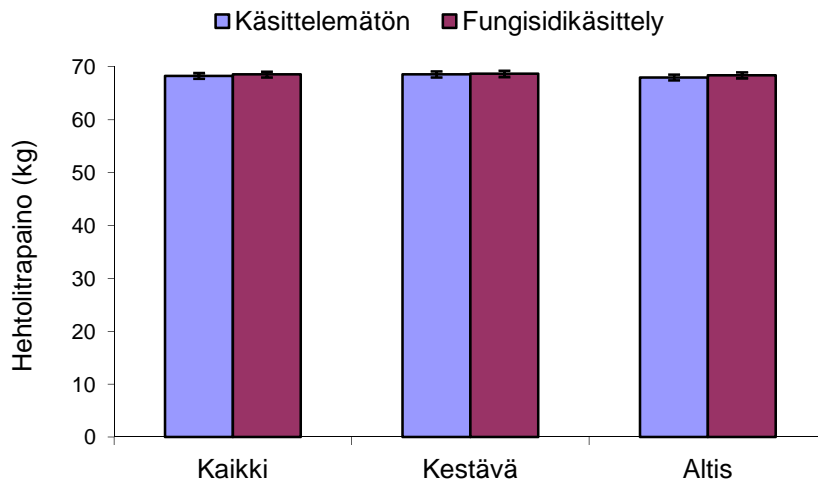
Vaikka käsittelyn ja lajikeryhmän yhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p > 0,05$), suurempi hyöty saatiin torjumalla verkkolaikku alttiissa lajikeryhmässä (Kuva 7). Tällöin sadonlisä oli hieman alle 400 kg/ha, kun se kestäville lajikkeilla oli vain runsas 200 kg/ha. Fungisidikäsitely lisäsi kestävä lajikeryhmän satoa keskimäärin 3 % ja alttiin 6 %. Korkeassa tautipaineessa käsittelyn hyöty ilmeni myös kestäville lajikkeilla. Matalassa tautipaineessa käsittely aiheutti vähäisen, noin 40 kg/ha, satotappion kummassakin lajikeryhmässä.



Kuva 7. Kaikkien lajikkeiden ja kahden eri lajikeryhmän keskimääräinen sato (kg/ha).

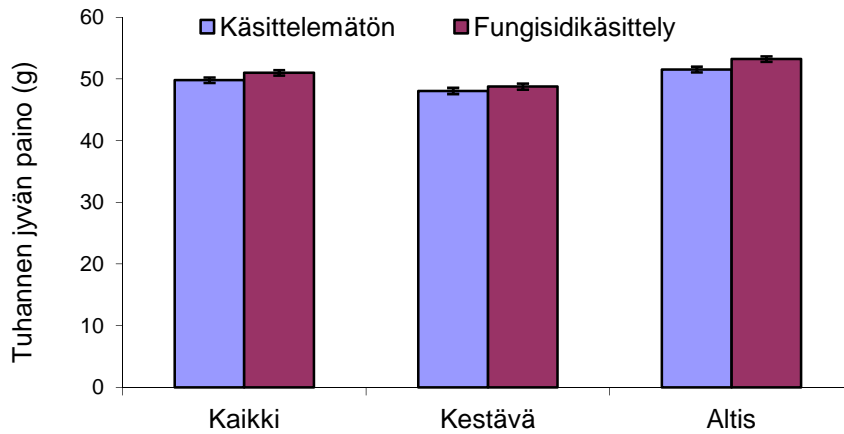
Palkit ovat estimoituja keskiarvoja \pm SE ($n_{\text{kestävä}}=81$ ja $n_{\text{altis}}=180$).

Fungisidikäsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta kestäväen lajikeryhmän hehtolitrainoon (Kuva 8). Alttiilla lajikeryhmällä käsittely nosti hehtolitrainoa noin 0,4 kg, mutta hehtolitraino oli pienempi sekä käsittelemättömänä että fungisidikäsiteltynä verrattuna kestäväen lajikeryhmään. Käsittelyn ja lajikeryhmän erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,05$) (Liite 3).



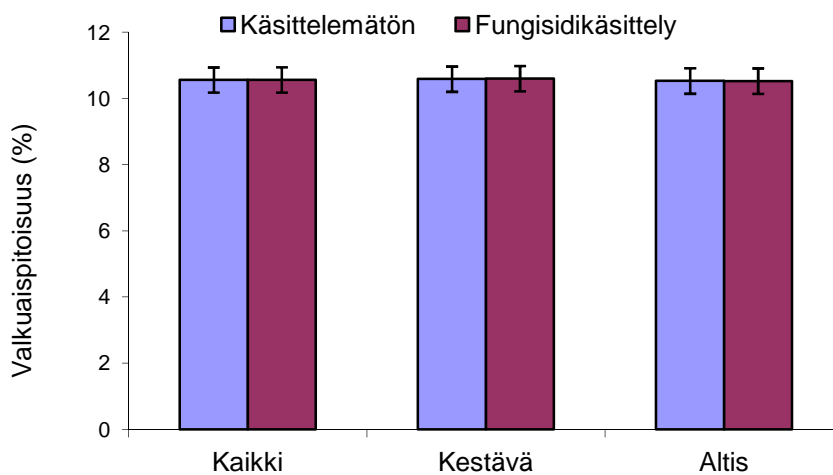
Kuva 8. Kaikkien lajikkeiden ja kahden eri lajikeryhmän keskimääräinen hehtolitraino. Palkit ovat estimoituja keskiarvoja \pm SE ($n_{\text{kestävä}}=81$ ja $n_{\text{altis}}=180$).

Lajikeryhmän ja käsittelyn välinen yhdysvaikutus tuhannen jyvän painoon oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$) (Liite 3). Fungisidikäsittelyllä kestäväen lajikeryhmän TJP nousi lähes grammalla, mutta alttiissa lajikeryhmässä TJP nousi merkitsevästi enemmän, lähes kaksi grammaa. Alttiilla lajikeryhmällä tuhannen jyvän paino oli noin 8 % korkeampi kuin kestäväällä lajikeryhmällä (Kuva 9).



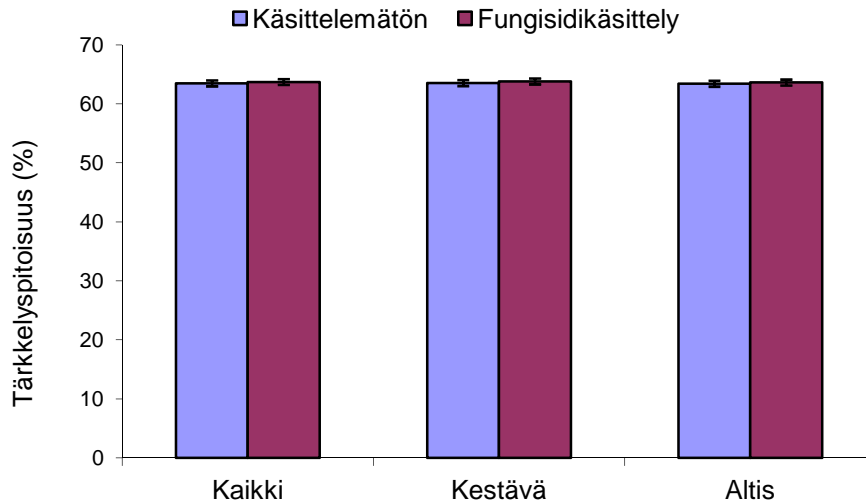
Kuva 9. Kaikkien lajikkeiden ja kahden eri lajikeryhmän keskimääräinen tuhannen jyvän paino. Palkit ovat estimoituja keskiarvoja \pm SE ($n_{\text{kestävä}}=81$ ja $n_{\text{altis}}=180$).

Valkuaispitoisuus analysoitiin kokeittain kolmen kerranteen yhdistetystä näytteestä, joten toistoina olivat vuosi ja koepaikka. Lajikeryhmä ja fungisidikäsittely eivät vaikuttaneet merkittävästi valkuaispitoisuuteen ($p>0,05$). Sadon valkuaispitoisuus oli keskimäärin 10,5 % (Kuva 10).



Kuva 10. Kaikkien lajikkeiden ja kahden eri lajikeryhmän keskimääräinen valkuaispitoisuus. Palkit ovat estimoituja keskiarvoja \pm SE ($n_{\text{kestävä}}=27$ ja $n_{\text{altis}}=60$).

Myös tärkkelyspitoisuus analysoitiin kolmen kerranteen yhdistetystä näytteestä. Tärkkelyspitoisuudessa ei ollut eroja lajikeryhmien välillä (Kuva 11). Fungisidikäsittely nosti tärkkelyspitoisuutta merkitsevästi ($p < 0,05$) (Liite 3), mutta pitoisuuden nousu oli alle yhden prosenttin.



Kuva 11. Kaikkien lajikkeiden ja kahden eri lajikeryhmän keskimääräinen tärkkelyspitoisuus. Palkit ovat estimoituja keskiarvoja \pm SE ($n_{\text{kestävä}}=27$ ja $n_{\text{altis}}=60$).

6 TULOSTEN TARKASTELU

Kestävällä lajikeryhmällä esiintyi ilman fungisidikäsittelyä saman verran verkkolaikkua, kuin mitä fungisidikäsittelyn jälkeen alttiilla lajikeryhmällä. Fungisidikäsittelyn teho verkkolaikkua vastaan oli parempi alttiissa lajikeryhmässä (Kuva 6). Ohralajikkeen verkkolaikunkestävyys ei vähentänyt satoa, sillä kestävällä lajikeryhmällä oli suurempi sato kaikissa oloissa (Kuva 7). Sen sijaan lajikkeiden alttiutta muille satoon vaikuttaville kasvitaudeille ei voida arvioida. Kasvustoista havainnoitiin kaikki kasvitaudit, mutta kaikkina vuosina havaittiin vain verkkolaikkua. Ohrakasvustossa voi esiintyä myös fysiologisia vioituksia, jotka pienentävät yhteyttävää lehtialaa. Kestävien lajikkeiden lehtiala säilyy yhteyttävänä pidempään kuin alttiilla lajikkeilla. Yhteyttävä lehtiala vaikuttaa muodostuvien hiilihydraattien määrään ja

taudinkestävä lajike ja fungisidikäsittely vaikuttavat vihreän lehtialan keston ja suurempaan satoon (Ruske ym 2003). Toinen tekijä on kahden eri taudinkestävyysluokan satovaste fungisidikäsittelylle. Alttiilla lajikkeilla fungisidikäsittely tarvitaan jo pienemmässä tautipaineessa kuin kestäville lajikkeilla, jotta ei aiheudu satotappioita (Mercer ja Ruddock 2005). Voidaan myös olettaa, että alttiimpien lajikkeiden suuremmasta tautimäärästä olisi fungisidikäsittelyllä helpompi saada suurempi osa torjuttua.

Delinin ym. (2008) mukaan fungisidikäsittely lisää vehnän (*Triticum aestivum L.*) satoa ja sadon typpipitoisuutta parantamalla juurten typenottokykyä, pitämällä lehdet pidempään vihreinä ja myöhästyttämällä vehnäkasvuston tuleentumista. Sienitaudit vähentävät vehnän typenottoa, lisäävät typen häviötä ja vähentävät typen kuljetusta jyviin. Fungisidikäsittelyn avulla saatu parempi typenkäytön tehokkuus voitaisiin saavuttaa myös kestäville lajikkeilla ja viljelykierrolla (Delin ym. 2008). Huusela-Veistolan ym. (2010) mukaan fungisidikäsittely ei lisää ohrasadon typpi- ja fosforipitoisuutta, mutta typpeä ja fosforia poistuu maasta sadon mukana enemmän kuin ilman fungisidikäsittelyä, koska käsittely lisää satoa etenkin korkeassa tautipaineessa. Fungisidikäsittelyn seurauksena kasvusto ja juuristo pysyvät terveenä ja pystyvät hyödyntämään annetut ravinteet paremmin, millä voi olla merkitystä myös ravinnekuormituksen kannalta (Huusela-Veistola ym. 2010). Tässä tutkimuksessa fungisidikäsittely ei vaikuttanut ohran valkuaispitoisuuteen eikä eroa havaittu eri lajikeryhmienkään välillä.

Alttiin lajikeryhmän tuhannen jyvän paino oli suurempi, mutta hehtaarisato oli pienempi kuin kestävä lajikeryhmän. Tämän perusteella alttiissa lajikeryhmässä jyvien lukumäärä tähkässä oli kestävä lajikeryhmää pienempi. Kummallakin lajikeryhmällä ylittynyt 68 kilon hehtolitraino oli suurempi kuin esimerkiksi mallasohran peruslaatuvaatimuksen oleva 64 kg/hl (Altia Oyj 2011). Jayasen ym. (2002) mukaan verkkolaikun torjunta fungisidikäsittelyllä nostaa hehtolitrainoa ja jyväkokoa, mutta laskee proteiinipitoisuutta. Lajikkeen proteiinipitoisuus on lajikekohtainen ominaisuus, jota fungisidikäsittely voi hieman pienentää (Ruske ym. 2003). Tutkituista ohralajikkeista seitsemän on hyväksytty mallasohriksi ja niiden keskimääräinen proteiinipitoisuus 10,5 % täyttää mallasohran laatuvaatimuksena olevan 9,0–11,5 % proteiinipitoisuuden.

6.1 Vuoden ja koepaikan vaikutus satovasteisiin

Tässä tutkimuksessa lajikkeiden ja fungisidikäsittelyn vaikutuksia satoon tutkittiin usean vuoden perusteella, koska kasvukauden olosuhteet vaikuttavat paljon kasvitautien esiintymiseen ja satoon. Vuodella ja koepaikalla sekä niiden yhdysvaikutuksilla on havaittu olevan suurempi merkitys vehnän ja ohran satoon kuin lajikkeilla, ja vuosittaiset satovaihtelut selittyvät osin tautipaineella (Priestley ja Bayles 1982). Ohrakasvuston tautipaineeseen vaikuttavat genotyyppi, ympäristö ja näiden vuorovaikutukset. Pinnschmidtin ja Hovmøllerin (2002) mukaan 61–81 % verkkolaikun tautipaineen vaihtelusta johtuu genotyypin tai ympäristön päävaikutuksista ja lopusta vaihtelusta noin 80 % näiden yhdysvaikutuksista. Ympäristön vaikutuksiin kuuluvat sää, maaperän ominaisuudet, viljelytoimet ja kasvin altistuminen taudinaiheuttajille. Genotyyppi sisältää lajikekohtaiset ominaisuudet, lajikkeen kasvun vaihtelevissa oloissa ja taudinkestävyyden. Ympäristön ja genotyypin yhdysvaikutuksen takia kestävä lajike ei olekaan kestävä kaikissa mahdollisissa ympäristöoloissa (Pinnschmidt ja Hovmøller 2002).

Wegulon ym. (2011) mukaan fungisidikäsittely on taloudellisesti kannattavaa korkeassa ja keskimääräisessä tautipaineessa, mutta matalassa tautipaineessa aiheutuu sekä taloudellisia että sadon määrällisiä tappioita. Fungisidikäsittely parantaa satoa matalassa tautipaineessa vain vähän ja fungisidikäsittelyn satovaste on pienempi kuin korkeassa tautipaineessa. Wegulon ym. (2011) mukaan käsittelyn kannattavuus riippuu monien tekijöiden yhdysvaikutuksista. Näitä tekijöitä ovat sääolot, tautipaine, valmisteen teho, torjunnan oikea ajoitus, lajikkeiden taudinkestävyys ja muut viljelytoimenpiteet. Binghamin ym. (2012) mukaan kasvitautien torjunta kannattaa taloudellisesti, kun käsittelyn sadonlisäys kattaa käsittelyn kulut. Vehnällä fungisidikäsittely lisäsi satoa joka vuosi 25 vuoden aikana, mutta vain 13 vuonna sadonlisäys oli tilastollisesti merkittävä ja kymmenenä vuonna käsittely ei ollut taloudellisesti kannattava (Wiik ja Rosenqvist 2010).

Wiik ja Ewaldz (2009) totesivat yli 20 vuoden kenttäkoeaineiston perusteella, että sääolot (kuukauden keskilämpötila ja sadanta) selittävät yli 50 % syysvehnän kasvitautien määrästä, tuhannen jyvän painosta ja sadonlisäyksestä. Heidän mukaan tarkat sääennusteet kasvukaudella mahdollistavat kasvitautien leviämisen mallintamisen

kohtalaisen tarkasti. Sadanta vaikuttaa lehtilaikkutautien esiintymiseen erityisesti pensomis-, korrenkasvu- ja tähkän turpoamisvaiheessa. Kasvitautiennusteet taas auttavat tekemään päätöksiä kasvitautien torjunnan kannattavuudesta ja oikealla käsittelyajankohdalla kasvinsuojelusta saadaan suurin hyöty.

Lajikkeet ja sääolot vaikuttavat fungisidikäsittelyn torjuntatehoon ja saatuun sadonlisäykseen. Viileänä ja sateisena kesänä fungisidikäsittely vähentää selvästi kasvitautien esiintymistä (Peltonen ja Karjalainen 1992). Fungisidikäsittelyn satovaste johtuu pidentyneestä vihreän lehtialan kestosta ja jyvän täyttymisen kestosta, sekä lisääntyneestä typenotosta ja typenkäytöstä (Ruske ym. 2003, Peltonen ja Karjalainen 1992). Erityisesti lippulehden vihreänä pysymisen kesto riippuu lajikkeen kestävydestä ja sääoloista (Ruske ym. 2003).

Tässä tutkimuksessa mikään lajike lajikeryhmän sisällä ei ollut selvästi kestävin tai alttein verkkolaikulle, vaan vuosien sääolot vaikuttivat paljon lajikkeiden verkkolaikun määrään. May ja Kozub (1993) tutkivat genotyypin ja olojen (6 vuotta ja 12 koepaikkaa) yhdysvaikutusta satoon ja totesivat, että yksikään genotyyppi ei ollut selvästi satoisin joka vuosi tai kaikissa koepaikoissa, vaan sato vaihteli olojen mukaan. Douiyssi ym. (1998) havaitsivat, että lajikkeen verkkolaikun kestävyys tai alttius säilyy tasaisesti eri koepaikoilla, mutta tutkituista lajikkeista yksikään kestävä lajike ei ollut kuitenkaan kestävä kaikille tutkituille tauti-isolaateille. Usean vuoden viljelyn jälkeen lajike on alttiimpi paikallisille verkkolaikkukannoille, mutta kestävämpi toisella koepaikalla eri tautikannoille (Douiyssi ym. 1998).

Viljelyn talouden kannalta kestävä lajike on kannattava valinta vaihtelevissa sääoloissa, sillä kestäväällä lajikeryhmällä oli suuri sato myös ilman fungisidikäsittelyä. Jos kesä on kuiva ja tautipaine on pieni (<5 % tautia ilman käsittelyä), niin silloin fungisidikäsittely tuottaa vain pienen sadonlisäyksen tai sato jopa pienene käsittelyn vaikutuksesta (Laine ja Jalli 2009). Jorgensen ja Olsen (2007) mukaan kestävät vehnälajikkeet ovat säännöllisesti kestäviä kaikissa oloissa, mutta kestävien ja alttiiden lajikeryhmien sisäinen järjestys tautimäärissä vaihtelee. Altteimman ja kestävimmän lajikkeen satoero ilman käsittelyä voi olla 500–1000 kg/ha. Alttiin lajikkeen lippulehdellä tautia esiintyi yli neljä kertaa enemmän verrattuna kestävään ja kestävän lajikkeen lippulehti säilyi vihreänä 10–12 päivää alttiin lajikkeen lippulehteä pidempään. Korkeassa tautipaineessa

(ilman käsittelyä tautia yli 60 %) fungisidikäsitteily lisäsi satoa keskimäärin yli 1200 kg/ha (Jorgensen ja Olsen 2007).

Tulevaisuudessa ohranviljely saattaa ilmaston lämmetessä olla mahdollista myös pohjoisimmassa Suomessa, kuten myös syysohralajikkeiden viljely. Tällöin riskinä ovat kasvitautien talvehtiminen peltoon jäävässä kasvijätteessä ja uusien kasvitautien leviäminen Suomeen. Samoin jatkossa yleistyvät satoisimmat lajikkeet, joilla on pitkä kasvuaika, altistuvat aiempaa pidempään kasvitaudeille, jos myös kasvitaudeille sopivat sääolot jatkuvat pidempään (Hakala ym. 2011). Kasvitautien infektoimiskyvyn muuntumisen vuoksi tarvitaan nyt ja jatkossa uusien kestävien lajikkeiden jalostamista (Johnson 1992).

6.2. Fungisidikäsitteilyn vaikutus satoon

Fungisidikäsitteily lisäsi satoa kummassakin lajikeryhmässä. Kestävän lajikeryhmän sato ilman fungisidikäsitteilyä oli noin 6600 kg/ha (Kuva 7) ja fungisidikäsitteily nosti satoa runsaan 200 kg/ha. Alttiin lajikeryhmän sato oli ilman käsittelyä 6300 kg/ha, mutta käsittely nosti satoa lähes kaksi kertaa enemmän kuin kestävässä lajikeryhmässä. Kuitenkin jo pelkästään kestävä lajike ilman fungisidikäsitteilyä tuotti siis lähes saman sadon kuin altis lajike fungisidikäsitteilyn kanssa. Jayasen ym. (2002) mukaan verkkolaikkua vastaan tehdyn fungisidikäsitteilyn satovaste on keskimääräisessä tautipaineessa 7–27 % ja korkeassa tautipaineessa 8–32 %. Keskimääräisessä tautipaineessa verkkolaikkua oli 9 % ja korkeassa tautipaineessa 85 % käsittelemättömässä kasvustossa. Fungisidikäsitteilyn hyöty riippuu paljon kasvukauden sääoloista, tautipaineesta ja satotavoitteesta, mutta käsittely on taloudellisesti kannattavaa, kun sato-odotus on yli 3000 kg/ha (Jayasena ym. 2002).

Suomessa tehdyssä ISO-VILJA -tutkimuksessa fungisidikäsitteilyn satovaste ohralla vaihteli 12 vuoden aikana noin 400–1000 kg/ha, kun verkkolaikku oli torjuttu kertaalleen lippulehtivaiheessa. Suurin satovaste saatiin korkeimmassa tautipaineessa, jolloin verkkolaikulle otolliset sääolot esiintyivät jo ennen lippulehtivaihetta (Salopelto 2007). Gladders ja Hims (1994) havaitsivat yhden fungisidikäsitteilyn ohralla kasvuasteessa BBCH 33–37 olevan riittävän tehokas vähäisessä tautipaineessa, eikä

siitä koitunut satotappioita verrattuna kahteen käsittelykertaan. Vastaavaa hyötyä ei saatu korkeammassa tautipaineessa, ja silloin kaksi käsittelykertaa oli parempi vaihtoehto (Gladders ja Hims 1994).

Acanto Prima kuuluu strobiluriinivalmisteisiin, joiden sekundaarisia vaikutuksia ovat lehtien kohonnut klorofyllipitoisuus, lehtialan pidempi kesto, jyvien kohonnut typpipitoisuus ja suurentunut sato (Grossmann ja Retzlaff 1997). Fungisidikäsittely suurensi kestävän lajikeryhmän satoa 3 % ja alttiin 6 % (Kuva 7). Vastaavissa oloissa tehdyissä kokeissa fungisidikäsittely verkkolaikkua vastaan lisäsi satoa kolmen vuoden aikana keskimäärin 4–11 % (Laine ym. 2008). Testatuista 11 fungisidista paras torjuntateho verkkolaikkua vastaan saatiin strobiluriinivalmisteella (syprodiiniili ja pikoksistrobiini), mutta sen torjuntatehon erot muihin valmisteisiin verrattuna olivat pieniä. Korkeassa tautipaineessa (tautia 35 % ilman käsittelyä) strobiluriinivalmisteen torjuntateho verkkolaikkua vastaan oli 98–99 %. Sääolojen vaikutus ilmeni selvästi, sillä kuivina kasvukausina käsittely ei merkitsevästi suurentanut satoa, mutta kosteampina kasvukausina ja korkeassa tautipaineessa käsittely lisäsi satoa jopa 30 % (Laine ym. 2008). MTT:n virallisissa lajikekokeissa paras satovaste fungisidikäsittelylle saatiin verkkolaikulle alttiilla lajikkeilla, kun taas kestäväillä lajikkeilla fungisidikäsittely ei merkitsevästi suurentanut satoa (Hannukkala ym. 2001).

Wiik (2009) toteaa, että etenkin korkeassa tautipaineessa (>20 % lehtialasta taudin peitossa) fungisidikäsittely lisää vehnäsatoa 12–17 %. Fungisidikäsittelyn sadonlisäys 20 vuoden aineiston perusteella on 10–15 % ja se selittyy pääosin kohonneella tuhannen jyvän painolla. Käsittely lippulehtivaiheessa (BBCH 37–40) lisää satoa, sillä yksi fungisidikäsittely lippulehtivaiheessa on riittävä säilyttämään kasvuston vihreänä jyvien täyttymisvaiheen ohi. Käsittelyn tehon kannalta paras ajankohta riippuu kasvukauden tautipaineesta ja viljellyn lajikkeen taudinkestävyydestä (Wiik 2009).

Alttiilla lajikkeilla kasvitauteja esiintyy paljon jo pienessä tautipaineessa, mutta kestäväillä lajikkeilla tautipaine kohoaa alttiita lajikkeita hitaammin. Tautien aiheuttamat satotappiot ovat pois potentiaalisesta sadosta, joten fungisidikäsittelyn satovaste riippuu torjuttavan taudin määrästä ja satopotentialista (Gaunt 1995). Fungisidikäsittelyn oikea ajankohta on tärkeä tekijä parhaan torjuntatehon saamiselle. Liian aikainen käsittely menettää tehonsa ennen tautipaineen kasvua ja myöhäinen käsittelykään ei auta, jos

kasvitauti on jo levinnyt kasvustoon. Lisäksi fungisidikäsittely on kasville yksi stressitekijä, joten kuivuusstressin aikana tehty käsittely voi vähentää käsittelyn hyötyä ja myös satoa. Saatu sato riippuu siis monesta tekijästä, kuten kasvuston tiheydestä, sääoloista, tautipaineesta, fungisidiruiskutuksen ajankohdasta, fungisidin tehosta ja sen käyttömäärästä.

Fungisidikäsittelyn jälkeen lajikeryhmien välinen satoero oli pienempi kuin ilman käsittelyä, mikä vastaa Mercerin ja Ruddockin (2005) havaintoja. Kestävillä lajikkeilla jo puolikkaalla fungisidiannoksella saatiin sama torjuntateho kuin täydellä annoksella, mutta korkeassa tautipaineessa puolikas annos ei riittänyt. Alttiilla lajikkeilla oli parempi satovaste käsittelylle ja niiden vihreä lehtiala sekä tuhannen jyvän paino kasvoivat käsittelyn seurauksena kestäviä lajikkeita enemmän (Mercer ja Ruddock 2005).

Vihreän lehtialan kesto (green leaf area duration, GLAD) on sadonmuodostuksen kannalta tärkeä tekijä. Sen merkitys on kasvuston yhteyttämistehokkuuden säilyttämisessä ja lehtilaikkutautien määrän kasvaessa vihreä lehtiala vähenee. Dimmockin ja Goodingin (2002) mukaan vihreän lehtialan pidentynyt kesto ei näy suoraan suurempana satona, sillä vaikka fungisidikäsittely pidensi kahden eri lajikkeen vihreän lehtialan kestoa kaksi viikkoa, niin jyvän täyttyminen pidentyi toisella lajikkeella noin viikolla ja toisella yli 10 päivällä. Vastaavasti sadonlisäys näillä lajikkeilla oli 1000 kg/ha ja 3000 kg/ha ja satovasteiden ero johtui lajikkeiden kasvuajoista.

Fungisidikäsittelyllä kasvitautilien esiintyminen tai leviäminen saadaan estettyä ja kasvuston vihreän lehtialan kesto pitenee. Taudinkestäville lajikkeilla vihreä lehtiala kestää pidempään. Wegulon ym. (2011) mukaan syysvehnällä fungisidikäsittely on kannattavampaa tehdä kasvuasteessa 39–59 (BBCH) kuin kasvuasteessa 31 (BBCH), koska silloin käsittely suojaa sadon kannalta tärkeää lippulehteä. Dimmock ja Gooding (2002) totesivat, että fungisidikäsittely pidentää vihreän lehtialan kestoa ja jyvän täyttymissen kestoa sekä vähentää taudin esiintymismäärää, mutta lajike, jyvän paikka tähkässä ja sääolot vaikuttavat enemmän jyvän painoon. Fungisidikäsittely siis mahdollistaa hyvän sadon, mutta lopulliseen satoon vaikuttavat useat muut kasvutekijät.

Verkkolaikun määrä kahdella ylimmällä lehdellä korreloi parhaiten satotappioiden kanssa ja lippulehtivaiheen alussa jo 1-2 % verkkolaikkupitoisuuden ylittyessä fungisidikäsittely on kannattavaa etenkin alttiilla lajikkeilla. Noin 10 % kasvu kolmen ylimmän lehden verkkolaikun määrässä pienentää satoa 400 kg/ha (Jayasena ym. 2007). Fungisidikäsittelyn satovaste voi vaihdella paljon eri vuosina, vaikka fungisidikäsittely vähentäisi taudin esiintymistä yhtä paljon (Pristley ja Bayles 1982). Osalla lajikkeista sato selittyy enemmän pidentyneellä vihreän lehtialan kestolla ja toisilla lajikkeilla taas taudin määrän vähenemisellä (Priestley ja Bayles 1982).

Binghamin ym. (2012) mukaan vihreän lehtialan kesto ja yhteyttävän lehtialan säilyminen eivät pelkästään selitä fungisidikäsittelyn satovastetta. Fungisidikäsittely voi lisätä satoa, vaikka kasvien lehdillä ei ole vielä näkyviä merkkejä kasvitauti-infektiosta, sillä osalla lajikkeista kasvitaudit voivat esiintyä oireettomina. Fungisidi voi vaikuttaa kasvitautien lisäksi myös itse kasvin kasvuun, aineenvaihduntaan ja jopa suoraan jyvien lukumäärään tähkässä. Fungisidikäsittelyllä saatu sadonlisä oli noin 1000 kg/ha ja selittyi suuremmalla jyvien lukumäärällä pinta-alaa kohden. Fungisidikäsittelyn satovaste oli samansuuntainen eri genotyypeillä vaikka tautipaine vaihteli vuosien välillä (Bingham ym. 2012).

Pistelaikkua (*Drechslera tritici-repentis* Dreschler) vastaan tehty fungisidikäsittely suurentaa vehnäsatoa keskimäärin yli 1000 kg/ha, mutta suuressa tautipaineessa sadonlisäys on jopa 4500 kg/ha (Jorgensen ja Olsen 2007). Vuosien välisestä vaihtelusta johtuen lajikkeen taudinkestävyys ja tautipaine on tiedettävä kasvinsuojelupäätöstä tehtäessä. Käsittelyä ei kannata tehdä rutiininomaisesti, vaan juuri edelliset tekijät huomioiden, sillä muuten käsittely voi osoittautua kannattamattomaksi (Jorgensen ja Olsen 2007). Myös asetettu satotavoite vaikuttaa siihen sitä, kannattaako käsittely tehdä vai ei, sillä satotavoitteen voi saavuttaa esimerkiksi pelkän kestävän lajikkeen valinnalla. Kasvitautien torjunta ei merkittävästi lisää satoa, jos satoennuste on huono sääoloista johtuen.

Euroopan Unionin direktiivi 2009/128/EC torjunta-aineiden kestävän käytön aikaansaamiseksi tulee voimaan vuodesta 2014 eteenpäin. Tällöin integroitu kasvinsuojelu (integrated pest management, IPM) tulee pakolliseksi osaksi viljelytoimia (European Union 2009). Direktiivin avulla on tarkoitus vähentää torjunta-aineiden

käyttöä ja niistä aiheutuvia haittavaikutuksia ennaltaehkäisevin keinoin, kuten kasvinvuotoruksella, viljelykierrolla ja lajikevalinnalla. Kasvitautilien torjuntatarve määritetään tautiennusteilla, jolloin fungisidikäsitteily voidaan tehdä oikealla hetkellä ja vain torjuntakynnyksen ylittävässä tautipaineessa. Tulevaisuudessa kasvintuotannon osana tarvitaan integroidun tuotannon ja kasvin suojelelun lisäksi nykyistä kestävämpiä lajikkeita, lajikeseosviljelyä sekä kasvinvuorotusta, jossa otetaan huomioon patogeenien leviäminen (Hysingin ym. 2012). Kestävien lajikkeiden viljely onkin yksi tehokas keino direktiivin toteuttamisessa, kuten myös tässä tutkimuksessa on osoitettu.

Fungisidikäsitteilyn sadonlisäykset olivat kohtalaisen pieniä, mutta toisaalta satotaso oli melko korkea, sillä ohran kymmenen vuoden keskisato Suomessa on ollut noin 3500 kg/ha (Tike 2012). Kun tiedetään fungisidikäsitteilyn satovaste eri oloissa, voidaan helpommin suunnitella fungisidien tarpeenmukaista käyttöä, jotta sadonlisäys kattaisi fungisidikäsitteilyn kustannukset. Onnistunut fungisidikäsitteily lisää satoa pitämällä kasvin pidempään vihreänä etenkin jyvääntyymisvaiheessa, joka on sadonmuodostuksen kannalta kriittisin kasvuvaihe (del Moral ym. 2002). Kasvitautilien torjuntaa suunniteltaessa on huomioitava esikasvin mahdollisesti aiheuttama tautiriski, esimerkiksi peltoon syksyllä jäänyt kasvijäte. Tämä ei kuitenkaan useinkaan muodostu ongelmaksi, mikäli on huolehdittu riittävästä kasvinvuorotuksesta ja pelto on kynnetty (Jalli ym. 2011).

Viljelysuunnittelussa kannattaa valita kestävät lajikkeet lohkoille, joilla on aiempien vuosien perusteella riski suuresta tautipaineesta. Esimerkiksi luomuviljelyyn kestävä lajikkeen valitseminen on ehdottomasti kannattavaa, eikä kestävä lajikkeen viljeleminen ainakaan lisää kuluja. Lajikevalinnassa on huomioitava, että verkkolaikunkestävä lajike voi olla altis muille ohran kasvitaudeille kuten rengaslaikulle ja härmälle. Siksi erilaisissa oloissa ja alueilla on erikseen huomioitava lajikkeen taudinkestävyys eri kasvitaudeille ja lajikkeen tarve fungisidikäsitteilylle. Varsinkin kestäville lajikkeilla kasvitaudit voitaisiin hyväksyä torjuntakynnykseen asti, jonka jälkeen fungisidikäsitteily on tarpeellinen satotappioiden ehkäisemiseksi.

Tutkimuksen kolme koepaikkaa ja sääolojen sekä tautipaineen suhteen vaihtelevat neljä kasvukautta antoivat hyvän kuvan lajikeryhmän ja fungisidikäsitteilyn merkityksistä erilaisissa oloissa. Tulosten vertailtavuutta ja luotettavuutta olisi voitu parantaa

käyttämällä samoja lajikkeita vuosittain ja sisällyttämällä aineistoon nykyistä taudinalttiimpia lajikkeita.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman tavoitteena oli tarkastella fungisidikäsittelyn satovastetta kestävillä ja alttiilla ohralajikkeilla. Fungisidikäsittely vähensi verkkolaikun esiintymistä merkitsevästi molemmilla lajikeryhmillä, mutta enemmän alttiilla lajikeryhmällä. Kestävällä lajikeryhmällä verkkolaikkua esiintyi vähän jo ilman fungisidikäsittelyä. Fungisidikäsittelyn satovaste näkyi selvästi molemmissa lajikeryhmissä, mutta se oli suurempi alttiissa lajikeryhmässä. Kestävillä lajikkeilla saadaan silti keskimäärin suurempi sato, sillä niiden sato on varmempi vaihtelevissa oloissa. Fungisidikäsittelyn sadonlisäys selittyy kohonneella tuhannen jyvän painolla.

Fungisidikäsittely ei ole kannattavaa matalassa tautipaineessa, koska silloin sadonlisäys on pieni. Korkeassa tautipaineessa fungisidikäsittelyn satovaste on parempi etenkin alttiilla lajikkeilla. Vaikka fungisidikäsittelyn satovaste voi olla toisina vuosina pieni, kasvitautien torjumatta jättäminen voi pienentää satoa paljon. Fungisidikäsittely tulisi tehdä vain tarpeen mukaan kun kasvitaudit uhkaavat aiheuttaa merkittäviä satotappioita. Viljelemällä taudinkestävää lajiketta voidaan parantaa viljelyvarmuutta ja vähentää fungisidikäsittelyn tarvetta. Kuitenkaan pelkkä kestävä lajike ja fungisidikäsittely eivät riitä estämään satotappioita, vaan tarvitaan myös muita kasvitauteja ehkäiseviä viljelymenetelmiä, kuten terve kylvösiemen ja hyvin suunniteltu kasvinvuorottelu.

8 KIITOKSET

Kauan tässä gradun valmistumisessa kesti, kun sukunimenikin ehti jo vaihtua gradun aiheeseen sopivaksi. Tämäkään gradu ei olisi valmistunut ilman päteviä ohjaajiani, joten kiitos erikoistutkija Marja Jalli ja vanhempi tutkija Erja Huusela-Veistola tuesta ja neuvoistanne MTT:llä. Kiitos biometriikko Lauri Jauhiaiselle avusta aineiston tilastollisessa analyysissä. Kiitos myös kasvinviljelytieteen professori Pirjo Mäkelälle kärsivällisestä ohjauksesta, jotta sain graduni valmiiksi. Erikoisharjoitteluni tukemisesta kiitos MTT:lle ja Helsingin yliopistolle sekä Yaralle, Borealille, NSL:lle ja MTT:lle aineiston antamisesta käyttööni. Kiitos kaikille opiskelukavereille, jotka ovat auttaneet opinnoissani. Lopuksi kiitos perheelleni ja vaimolleni, jotka ovat jaksaneet tsemptata minua tekemään opintoni loppuun asti, vaikka itse olin jo luovuttaa moneen kertaan. Nyt on gradu takana ja elämä edessä.

9 LÄHTEET

Acanto priman käyttöturvallisuustiedote. 2007.

<http://kasvinsuojelu.berner.fi/uploads/pdf/ktt/acantoprime.pdf> Viitattu 25.11.2012.

Agrimarket. 2012. Ohran kasvuohjelma.

<http://www.farmit.net/kasvinviljely/kasvuohjelma/ohra> Viitattu 21.1.2013.

Altia Oyj. 2011. Ohran ostoehdot ja laatuhinnoittelu satokaudella 2011 / 2012 Altian Koskenkorvan tehtaalla.

<http://www.altiacorporation.fi/connect/89498680480d1439aac5aeaa145b4e24/Ostoehdot+2011-2012.pdf?MOD=AJPERES> Viitattu 1.2.2013.

Bingham, I.J., Hoad, S.P., Thomas, W.T.B. & Newton, A.C. 2012. Yield response to fungicide of spring barley genotypes differing in disease susceptibility and canopy structure. *Field Crop Research* 139: 9-19.

Boreal kasvinjalostus. 2012. Ohralajikkeet.

http://www.boreal.fi/fi/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=62&Itemid=88 Viitattu 21.1.2013.

Brown, J.K.M. 2002. Yield penalties of disease resistance in crops. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 1-6.

Buchannon, K.W. & McDonald, W.C. 1965. Sources of resistance in barley to *Pyrenophora teres*. *Canadian Journal of Plant Science* 45: 189-193.

Delin, S., Nyberg, A., Lindén, B., Ferm, M., Torstensson, G., Lerenius, C. & Gruvaeus, I. 2008. Impact of crop protection on nitrogen utilisation and losses in winter wheat production. *European Journal of Agronomy* 28: 361-370.

del Moral, L.F.G., Miralles, D.J. & Slafer, G.A. 2002. Initiation and appearance of vegetative and reproductive structures throughout barley development. Teoksessa: Slafer, G.A., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L. & Romagosa, I. (toim.). *Barley science, recent advantages from molecular biology to agronomy of yield and quality*. New York, USA: Food Products Press. s. 243-268.

Dimmock, J.P.R.E. & Gooding, M.J. 2002. The effects of fungicides on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf green area. *Journal of Agricultural Science* 138: 1-16.

Douiyyssi, A., Rasmusson, D.C. & Roelfs, A.P. 1998. Responses of Barley cultivars and lines to isolates of *Pyrenophora teres*. *Plant Disease* 82: 316-321.

European Union. 2009. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. *Official Journal of the European Union* 309: 71-86.

Evira. 2012. Suomen kasvilajiketiedote 2012:2.

<http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/julkaisut/?a=view&productId=288>

Julkaistu 7.5.2012, viitattu 28.1.2013.

FRAC. 2010. FRAC recommendations for fungicide mixtures designed to delay resistance evolution.

http://www.frac.info/publication/anhang/Resistance%20and%20Mixtures%20Jan2010_ff.pdf Viitattu 12.3.2013.

FRAC. 2013. FRAC code list 2013: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC code numbering).

<http://www.frac.info/publication/anhang/FRAC%20Code%20List%202013-final.pdf> Viitattu 12.3.2013.

Gaunt, R.E. 1995. The relationship between plant disease severity and yield. *Annual Review of Phytopathology* 33: 119-144.

Gladders, P. & Hims, M.J. 1994. Improving spring and summer fungicide treatments for winter barley. *Crop Protection* 13: 597-606.

Grossmann, K. & Retzlaff G. 1997. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresozim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Pesticide Science* 50: 11-20.

Hakala, K., Hannukkala, A.O., Huusela-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pest and diseases in a changing climate: a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science* 20: 3-14.

Hannukkala, A. Vuorinen, M. & Kedonperä, A. 2001. Ohran taudinkestävydessä ja torjuntatarpeessa huimia eroja. *Koetoiminta ja käytäntö* 1: 7-8.

- Huusela-Veistola, E., Jalli, M., Ylivainio, K., Turtola, E., Lemola, R. & Ruuttunen, P. 2010. Kasvintuhoojilla merkitystä ravinnekuormituksessa – Verkkolaikkutartunta vähentää ohran ravinteiden ottoa. Julkaisussa: Hopponen, A. (toim.). Maataloustieteen päivät 2010. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 26. (11.1.2010, Helsinki)
- Hysing, S-C., Rosenqvist, H. & Wiik, L. 2012. Agronomic and economic effects of host resistance vs. fungicide control of barley powdery mildew in southern Sweden. *Crop Protection* 41: 122-127.
- Ilmatieteen laitos. 2012. Vuositulastot. <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositulastot> Viitattu 27.11.2012.
- Jackson, L. 1997. Scald. Teoksessa: Mathre, D.E. (toim.). *Compendium of barley diseases*. Minnesota, USA: The American Phytopathological Society. s.33-35.
- Jalli, M. & Vuorinen, M. 2007. Ohran taudit kuriin. *Koetoiminta ja käytäntö* 64: 3-4.
- Jalli, M. & Laine, P. 2011. Viljojen lehtilaikkutaudit ja fungisidiresistenssi. *Kasvinsuojelulehti* 44: 6-7.
- Jalli, M., Laitinen, P. & Latvala, S. 2011. The emergence of cereal fungal diseases and the incidence of leaf spot diseases in Finland. *Agricultural and Food Science* 20: 62-73.
- Jayasena, K.W., Loughman, R. & Majewski, J. 2002. Evaluation of fungicides in control of spot-type net blotch on barley. *Crop protection* 21: 63-69.
- Jayasena, K.W., Van Burgel, A., Tanaka, K., Majewski, J. & Loughman, R. 2007. Yield reduction in barley in relation to spot-type net blotch. *Australian Plant Pathology* 36: 429-433.

- Johnson, R. 1992. Past, present and future opportunities in breeding for disease resistance, with examples from wheat. Teoksessa: Johnson, R. & Jellis, G.J. (toim.). Breeding for disease resistance (Proceedings of the International Conference on Breeding for Disease Resistance, December 16–19 1991, Newcastle-upon-Tyre, U.K. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. s. 3-22.
- Johnston, M. 1997. Powdery mildew. Teoksessa: Mathre, D.E. (toim.). Compendium of barley diseases. Minnesota, USA: The American Phytopathological Society. s.31-33.
- Jorgensen, J.H. 1992. Discovery, characterization and exploitation of Mlo powdery mildew resistance in barley. Teoksessa: Johnson, R. & Jellis, G.J. (toim.). Breeding for disease resistance (Proceedings of the International Conference on Breeding for Disease Resistance, December 16–19 1991, Newcastle-upon-Tyre, U.K. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. s. 141-152.
- Jorgensen, L.N. & Olsen, L.V. 2007. Control of tan spot (*Drechslera tritici-repentis*) using cultivar resistance, tillage methods and fungicides. Crop Protection 26: 1606-1616.
- Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhinainen, L. & Nikander, H. 2008. Viljalajikkeiden herkkyyks tautitartunnoille virallisissa lajikekokeissa 2001–2008. MTT:n selvityksiä 161. Tampere: MTT. 36 s.
- Kangas, A., Jalli, M., Kedonperä, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2009. Viljalajikkeiden herkkyyks tautitartunnoille virallisissa lajikekokeissa 2002–2009. MTT Kasvu 4. Tampere: MTT. 34 s.
- Laine, P., Koski, P. & Jalli, M. 2008. Tarpeenmukainen tautitorjunta kannattaa. Käytännön Maamies 5: 6-7.

- Laine, P. & Jalli, M. 2009. Comparison of fungicides on the market in Finland in spring barley in 2005-2009.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/mtt/facilities/testing_PPs/trialresults/2009/Fungicides/7EB1A87F32B858FFE040A8C0033C3A2F Viitattu 13.3.2013.
- May, K.W. & Kozub, G.C. 1993. Genotype x environment interactions for two-row barley grain yield and implications for selecting of genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 73: 939-946.
- Mercer, P.C. & Ruddock, A. 2005. Disease management of winter wheat with reduced doses of fungicides in Northern Ireland. *Crop Protection* 24: 221-228.
- NIAB. Disease Assessment Manual for Crop Variety Trials. 1985. National Institute of Agricultural Botany: Cambridge.
- Paveley, N.D., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K., Craigon, J. & Day, W. 2001. Steps in predicting the Relationship of yield on fungicide dose. *Analytical and Theoretical Plant Pathology* 7: 708-716.
- Peltonen, J. & Karjalainen, R. 1992. Effects of fungicide sprays on foliar diseases, yield, and quality of spring wheat in Finland. *Canadian Journal of Plant Science* 72: 955-963.
- Pinnschmidt, H.O. & Hovmøller, M.S. 2002. Genotype x environment interactions in the expression of net blotch resistance in spring and winter barley varieties. *Euphytica* 125: 227-243.
- Priestley, R.H. & Bayles, R.A. 1982. Effect of fungicide treatment on yield of winter wheat and spring barley cultivars. *Plant Pathology* 31: 31-37.
- Ruske, R.E., Gooding, M.J. & Jones, S.A. 2003. The effects of triazole and strobilurin fungicide programmes on nitrogen uptake, partitioning, remobilization and grain N accumulation in winter wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science* 140: 395-407.

Salopelto, J. 2007. ISO-VILJA viljatutkimus 2007.

<http://agrimarket.mederra.com/files/gallery/1220433729.pdf> Viitattu 11.3.2013.

Steffenson, B. 1997. Net blotch. Teoksessa: Mathre, D.E. (toim.). Compendium of barley diseases. Minnesota, USA: The American Phytopathological Society. s. 28-31.

Steffenson, B.J. & Webster, R.K. 1992. Quantitative resistance to *Pyrenophora teres* f. *teres* in Barley. *Phytopathology* 82: 407-411.

Tike. 2012. Ennakkosatilasto 24.8.2012.

<http://www.maataloustilastot.fi/ennakkosatilastot> Julkaistu 3.9.2012, viitattu 10.3.2013.

Tike. 2013. Käytössä oleva maatalousmaa. <http://www.maataloustilastot.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa> Viitattu 15.2.2013.

Tukes. 2012. Summary of the volume of the plant protection product sales in 2011. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Kasvinsuojeluaineet/Myyntitilastot/> Viitattu 4.3.2013.

Váňová, M., Palík, S., Hajšlová, J. & Burešová, I. 2006. Grain quality and yield of spring barley in field trials under variable growing conditions. *Plant, Soil and Environment* 52: 211-219.

Vilja-alan yhteistyöryhmä. 2012. Mallasohran lajikevalikoima. Teoksessa: Mallasohran viljelyopas. <http://www.vyr.fi/multimagazine/web/mallasohraopas/fi/> Viitattu 21.1.2013.

Västankvarn Försöksgård. 2006. Försöksrapport 2006.

<http://www.vastankvarn.fi/document/Forsoksrapport2006.pdf> Viitattu 20.11.2012.

Västankvarn Försöksgård. 2007. Försöksrapport 2007.

<http://www.vastankvarn.fi/document/Forsoksrapport2007.pdf> Viitattu 20.11.2012.

Västankvarn Försöksgård. 2008. Försöksrapport 2008.

<http://www.vastankvarn.fi/document/Försöksrapport09.pdf> Viitattu 20.11.2012.

Västankvarn Försöksgård. 2009. Försöksrapport 2009.

<http://www.vastankvarn.fi/document/Försöksrapport2009.pdf>

Viitattu 20.11.2012.

Walters, D.R., Avrova, A., Bingham, I.J., Burnett, F., Fountaine, J., Havis, N.D., Hoad, S.P., Hughes, G., Looseley, M., Oxley, S.J.P., Renwick, A., Topp, C. & Newton, A.C. 2012. Control of foliar diseases in barley: towards an integrated approach. *European Journal of Plant Pathology* 133: 33-73.

Wegulo, S.N., Zwingman, M.V., Breathnach, J.A. & Baenziger, P.S. 2011. Economic returns from fungicide application to control foliar fungal diseases in winter wheat. *Crop Protection* 30: 685-692.

Wiik, L. 2009. Yield and disease control in winter wheat in southern Sweden during 1977–2005. *Crop Protection* 28: 82-89.

Wiik, L. & Ewaldz, T. 2009. Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983-2007. *Crop Protection* 28: 952-962.

Wiik, L. & Rosenqvist, H. 2010. The economics of fungicide use in winter wheat in southern Sweden. *Crop Protection* 29: 11-19.

LIITE 1: Lisätietoa lajikkeista

(Lähteet: Agrimarket 2012, Boreal 2012 ja Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012)

Kestävät lajikkeet

Annabell on kaksitahoinen ohralajike, joka on hyväksytty viljelyyn vuonna 2003. Se on melko satoisa lajike ja matala valkuaispitoisuus sekä korkea lajittelu- % täyttävät mallasohran laatuvaatimukset. Mallasohraksi se hyväksyttiin vuonna 2004. Se on Suomen kasvuolosuhteissa hyvin taudinkestävä ja sitä voidaan viljellä I ja II vyöhykkeillä.

Calcule on kaksitahoinen ohralajike. Se on taudinkestävä lajike, mutta se ei ole uusimmassa lajikeluettelossa.

Fairytales on kaksitahoinen ohralajike, jolla on matala valkuaispitoisuus ja pieni jyvä. Se hyväksyttiin mallasohralajikkeeksi vuonna 2011. Se on erittäin satoisa I-vyöhykkeellä, mutta lajike ei kasva hyvin happamilla mailla. Fairytales on kestävä lehtilaikkutauteja vastaan.

Justina on kaksitahoinen rehuohralajike, joka on Suomessa hyväksytty lajikelistalle 2006. Se on jo osoittautunut viljelyssä satoisammaksi, kuin monet muut vanhemmat lajikkeet. Se kasvaa kaikilla maalajeilla, kunhan pH on tyydyttävä ja on myös kestävä lehtilaikkutauteja vastaan.

Xanadu on kaksitahoinen lajike ja hyväksytty mallasohralajikkeeksi vuonna 2009. Se on satoisampi, kuin monet muut vanhemmat mallasohralajikkeet ja sen valkuaispitoisuus, jyväkoko ja HLP täyttävät hyvin mallasohran laatuvaatimukset. Xanadu sietää happamia maita muita lajikkeita paremmin ja on kestävä ohran lehtilaikkutauteja vastaan.

Alttiit lajikkeet

Afrodite on kaksitahoinen ohralajike, mutta se ei ole uusimmassa lajikeluettelossa.

Barke on yleisesti viljelty kaksitahoinen lajike ja hyväksytty mallasohraksi vuonna 2002. Sen jyväkoko on suuri ja valkuaispitoisuus alhainen. Se kasvaa parhaiten viljelyvyöhykkeillä I ja II, mutta ei happamilla kivennäismailla. Barke on myöhäinen ja satoisa lajike ja melko kestävä lehtilaikkutauteja vastaan.

Beatrix on kaksitahoinen ohralajike joka on hyväksytty viljelyyn vuonna 2007. Lajike on melko myöhäinen, valkuaispitoisuus on matala ja jyväkoko suuri. Sitä viljellään rehuohraksi.

Harbinger on kaksitahoinen ohralajike, joka on tullut lajikeluetteloön vuonna 2009. Sillä on matala valkuaispitoisuus ja melko korkea HLP. Lajike sietää hyvin myös happamia maita ja sen tautikestävyys on melko hyvä. Se on hyväksytty mallasohraksi vuonna 2011.

Minttu on kaksitahoinen rehuohralajike. Se on hyvin satoisa I-III vyöhykkeillä, vaikka se on aikainen lajike. Minttu on lyhytkortinen, isojyväinen ja sen valkuaispitoisuus on korkea. Se sietää kuivuutta, muttei happamuutta ja lehtilaikkutauteja vastaan se on melko kestävä.

NFC Tipple on kaksitahoinen lajike ja se on hyväksytty mallasohraksi vuonna 2008. Viljelyvyöhykkeillä I ja II se on erittäin satoisa. Sen valkuaispitoisuus on muita mallasohralajikkeita matalampi ja sen jyväkoko on mallasohrista suurin. Se on lujakortinen ja myöhäinen lajike.

Prestige on kaksitahoinen lajike ja se on hyväksytty mallasohraksi vuonna 2006. Sen satoisuus ja valkuaispitoisuus ovat mallasohrien keskitasoa, mutta jyväkoko on suurimpia. Prestige on lujakortinen ja se kasvaa parhaiten hyväkuntoisilla kivennäismailla viljelyvyöhykkeillä I ja II. Sen lehtilaikkutauteiden kestävyys on melko hyvä.

Rambler on kaksitahoinen ohralajike, joka on tullut lajikeluetteloön vuonna 2009. Sitä viljellään rehu- ja tärkkelysohraksi. Lajike ei kestä happamilla mailla, mutta muuten on melko satoisa sekä myös melko kestävä.

Tocada on kaksitahoinen ohralajike, jota viljellään rehuksi. Se on melko taudinkestävä Suomen oloissa. Se on erittäin satoisa I- ja II-vyöhykkeillä hyväkuntoisilla kivennäismailla. Kaksitahoisista ohrista Tocadan TJP on korkeimpia ja muutenkin laatu on korkea. Valkuaispitoisuus on matala.

LIITE 2. Tilastollisen analyysin tekijät

R tarkoittaa satunnaistekijää.

Tekijä	Selitys
Olosuhde (R)	Vuosi, Koepaikka
Lohko(Olosuhde) (R)	Kerranne (Vuosi ja koepaikka)
Käsittely	Käsittelemätön ja Fungisidikäsitelty
Lajikeryhmä	Kestävä ja Altis
Lajike(Lajikeryhmä)	14 lajiketta, joista 5 kestävä ja 9 altista
Käsittely*Lajikeryhmä	Käsittelemätön tai käsitelty lajikeryhmä
Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	Yhdysvaikutuksia
Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)*Olosuhde (R)	Yhdysvaikutuksia
Residuaali	Jäännösvirhe

LIITE 3. Tilastollisten analyysien yhteenvetotaulukkoMerkitsevyystaso on $p < 0,05$.

	Tekijä	df	F	P
Taudin määrä	Käsittely	1,122	27,48	<0,05
	Lajikeryhmä	1,122	20,23	<0,05
	Lajike(Lajikeryhmä)	12,122	2,74	<0,05
	Lajikeryhmä*Käsittely	1,122	7,15	<0,05
	Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	12,122	0,94	0,51
Hehtaarisato	Käsittely	1,135	25,39	<0,05
	Lajikeryhmä	1,135	12,27	<0,05
	Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	7,03	<0,05
	Lajikeryhmä*Käsittely	1,135	1,77	0,19
	Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	0,75	0,70
HLP	Käsittely	1,135	1,18	0,28
	Lajikeryhmä	1,135	2,73	0,1
	Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	14,53	<0,05
	Lajikeryhmä*Käsittely	1,135	0,43	0,51
	Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	0,11	0,99
TJP	Käsittely	1,135	25,97	<0,05
	Lajikeryhmä	1,135	245,15	<0,05
	Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	22,65	<0,05
	Lajikeryhmä*Käsittely	1,135	4,20	<0,05
	Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	0,86	0,59
Valkuaispitoisuus	Käsittely	1,135	0,00	0,96
	Lajikeryhmä	1,135	1,64	0,20
	Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	19,22	<0,05
	Lajikeryhmä*Käsittely	1,135	0,05	0,83
	Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	0,74	0,71
Tärkkelyspitoisuus	Käsittely	1,135	5,54	<0,05
	Lajikeryhmä	1,135	1,94	0,17
	Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	11,49	<0,05
	Lajikeryhmä*Käsittely	1,135	0,14	0,71
	Käsittely*Lajike(Lajikeryhmä)	12,135	0,68	0,77