

Kasvinjalostus luomutuotannon monimuotoisuuden turvaajana

COBRA



LOPPURAPORTTI



Kasvinjalostus luomutuotannon monimuotoisuuden turvaajana

COBRA

1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Kasvinjalostus luomutuotannon monimuotoisuuden turvaajana eli COBRA -hanke toteutettiin osana CORE Organic II ERANET -ohjelmaa vuosien 2013–2016 aikana. Hankkeessa oli useita kymmeniä partnereita, joten kyseessä oli poikkeuksellisen laaja konsortio. Tästä johtuen hanke oli kokonaisuutena hyvin heterogeeninen, mutta Luonnonvarakeskuksen (Luke) rooli oli hyvin selkeästi rajattu. Tutkimukset toteutettiin käyttäen ohraa mallikasvina. Koska COBRA-hankkeen yleinen tavoite oli tukea ja kehittää luomukasvinjalostusta ja siementuotantoa, Luken toteuttamat taudinkestävyytutkimukset keskittyivät siemenlevintäisiin tauteihin, jotka ovat merkittäviä, luomutuotannossa vaikeasti torjuttava kasvinsuojeluriski. Toisaalta saavutukset taudinkestävyydessä ovat yhtäläillä tavanomaista tuotantoa merkittävästi hyödyttäviä. Toinen tutkimuskokonaisuutemme keskittyi ravinteiden käytön tehokkuuden parantamiseen kasvinjalostuksella, jonka tuottamat tulokset hyödyttävät niin luomu- kuin tavanomaista tuotantoa. Molemmissa Luken tutkimusten osakokonaisuudessa tutkittiin suurta ja vaihtelevan perimän omaavaa ohra-aineistoa ja etsittiin jalostuksessa höydyntävissä olevia kestävyys- tai tehokkuuslähteitä. Lisäksi Luke osallistui COBRA-hankekokonaisuuteen kehittämällä merkkiavusteista valintatyökalua niin taudinkestävyyden kuin ravinteiden käytön tehokkuuden jalostamiseksi.

COBRA-hanke oli rahoitukseltaan varsin rajallinen, mutta se oli merkittävä kaikkien yllä mainittujen tutkimuskokonaisuuksien kattavan toteutuksen mahdollistamiseksi. COBRA-hanke oli luomutuotantoon orientoitunutta jatkoa päättymässä olleelle yhteispohjois- maiselle SUPRI-hankkeelle ja se teki yhteistyötä taudinkestävyyden osalta mm. HYÖTYGEENI II -hankkeen kanssa. Ravinteiden käytön tehokkuustutkimukset linkittyivät sittemmin päättyneeseen OhraSopu-hankkeeseen sekä COBRAn aikana käynnistyneeseen, edelleen jatkuvaan FOSA-hankkeeseen. Kaikissa näissä on mukana myös genomisten valintatyökalujen kehittäminen.

2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö

Hanke toteutettiin Lukessa. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi professori Pirjo Peltonen-Sainio. Hanke oli osa CORE Organic II -ohjelmaa ja siinä oli viisi laajaa työpakettia ja niissä edelleen useita alatehtäviä:

- WP1: Siemenen terveys ja laatu
- WP2: Resilienssijalostus
- WP3: Jalostustehokkuuden parantaminen
- WP4: Sosio-ekonomiset ja lainsäädännölliset kytkökset
- WP5: Tulosten käytäntöön vienti ja verkottuminen

Luke osallistui tutkimuksineen kolmen ensimmäisen työpaketin toteutukseen:

- WP1: Siemenen terveys ja laatu
 - Vetäjä: Anders Borgen, Agrologica, Tanska
 - Osallistuja Lukesta: Marja Jalli
 - Luken osallistuma työpaketti: Task 1.2. Siemenlevintäisten tautien kestävyyserojen kartoitus
- WP2: Resilienssijalostus
 - Vetäjä: Maria Finckh, Kassel University, Saksa
 - Osallistuja Lukesta: Pirjo Peltonen-Sainio ja Ari Rajala
 - Luken osallistuma työpaketti: Task 2.3. Monimuotoisuus eri stressien lieventäjänä
- WP3: Jalostustehokkuuden lisääminen
 - Vetäjä: Peter Baresel, Technische Universität München, Saksa
 - Osallistuja Lukesta: Teija Tenhola-Roininen
 - Luken osallistuma työpaketti: Task 3.2. Fenotyypausmenetelmät

Hankkeen ohjausryhmän pysyviä jäseniä olivat: Suvi Ryyänen (MMM, puheenjohtaja), Mika Isolahti (Boreal Oy), Marja-Riitta Kottila (ProLuomu ry.), Hilikka Vihinen (Luke). Luomuliiton alkuperäisenä jäsenenä oli Mikko Rahtola, joka vaihdettuaan työnantajaa korvautui Reijo Käellä, joka vaihtoi sittemmin myös työnantajaa. Samoin ProAgrian edustaja Arja Nykänen vaihtoi työnantajaa eikä hankkeen ollessa loppuvaiheessaan, syksyn 2015 ohjausryhmän kokoukseen nimetty kummallekaan heistä korvaavia jäseniä.

3. Tutkimuksen tulokset

Hankkeen tutkimukset keskittyivät ohran siemenlevintäisten tautien kestävyyserojen arviointiin ja kasvinjalostuksessa hyödynnettävissä olevien geenivarojen tunnistamiseen. Ravinteiden käytön tehokkuuden osalta tutkimukset täydensivät aiempia tyypen keskittyneitä kartoituksia, kun yhä kattavampi rahoitus mahdollisti myös fosforin käytön tehokkuuden arvioinnin noin kahdestasadasta oloihimme sopeutuneesta lajikkeesta ja maataisesta tältä ja viime vuosisadalta. Taudinkestävyystutkimusten tapaan myös ravinteiden käytön tehokkuustutkimukset tuottivat jalostuskehityksen lisäksi tietoa jalostuksessa hyödynnettävissä olevista ravinteiden käytön tehokkuuslähteistä. Genomiikkatutkimuksessa toteutetut assosiaatiokartoitukset tukivat valintatyökalujen kehittämistä kestävyys- ja tehokkuuserojen valinnan tueksi.

3.1. Tutkimusmenetelmät ja aineisto

3.1.1. Siemenlevintäiset taudit ja ohran kestävyyserot

Ohramateriaalin taudinkestävyys tutkittiin Suomessa yleisimpiä siemenlevintäisiä taudinaiheuttajia ohranverkkolaikkua (verkkotyypin *Pyrenophora teres* f. *teres* ja laikkutyypin *Pyrenophora teres* f. *maculata*), viirutautia *Pyrenophora graminea*, lentonokea *Ustilago nuda* ja punahometta *Fusarium culmorum* vastaan. Kasvitautilien kestävyys tutkittiin kasvihuoneessa tai pellolla suomalaisilla rotuspesifisillä tauti-isolaateilla.

Testattavana kasvimateriaalina olivat ohramaatiaiset sekä lajikkeet, joiden maantieteellinen alkuperä vaihteli. Testattavan ohra-aineiston lisäksi tautitestauksessa olivat mukana taudinaiheuttajille alttiit ja kestävät kontrollilajikkeet (Taulukko 1).

Jokainen tauti testattiin omassa kokeessaan. Verkkoalaikun kestävyys testattiin ohran korrenkasvun alussa sumuttamalla lehdet tartukesuspensiolla ja arvioimalla oireiden voimakkuus 10 vuorokauden kuluttua tartutuksesta. Viirutaudin kestävyys testattiin sandwich-menetelmällä, jossa ohralajikkeen jyvät idätettiin kahden sienikasvuston välissä ja siirrettiin kasvamaan kasvihuoneelle. Lentonoen kestävyttä tutkittiin pipetoimalla lentonokisuspensiota injektioruiskulla noin 10 μ l ohran kukintoon pölytyksen jälkeen. Inokuloidut jyvät kylvettiin kasvihuoneeseen ja tähkälle tulon yhteydessä arvioitiin lentonokisten yksilöiden osuus. Ohragenotyyppien punahomeen kestävyttä selvitettiin pellolla, jossa ohran *hill plot* -kasvustot tartutettiin täyden kukinnan aikaan *F. culmorum* suspensiolla. Punahometartunnan määrä arvioitiin tuleentuneesta sadosta.

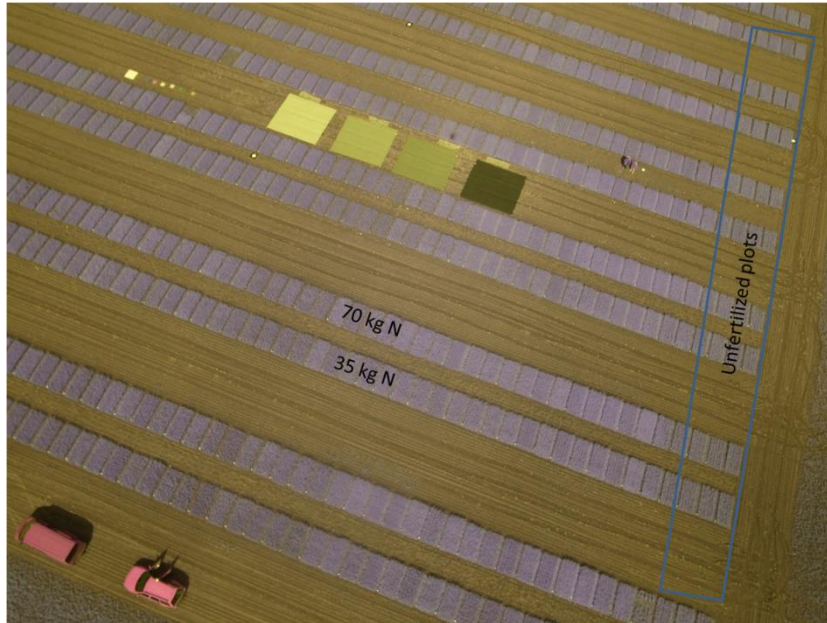
Taulukko 1. Ohragenotyyppien lukumäärä eri taudinkestävyystesteissä.

Tauti	Ohralajikkeet	Ohramaatiaiset
Ohran verkkoalaikku, verkkotyyppi	155	830
Ohran verkkoalaikku, laikkutyyppi	155	830
Viirutauti	87	38
Lentonoki	35	38
Punahome	53	99

3.1.2. Typen ja fosforin käytön tehokkuus

Ohrasopu-hankkeen peltokokeissa selvitettiin vuosina 2011 ja 2012 järjestetyin peltokokein yhteensä 195 ohragenotyypin sadontuottokykyä, typen käytön tehokkuutta ja taudinkestävyyttä. Tutkimuksia täydennettiin fosforianalysein, jotka käynnistettiin osana COBRA-hanketta ja laajennettiin hankkeessa saatujen kannustavien tulosten myötä osaksi *Fosforilannoituksen satovasteet moderneilla korkean satopotentiaalain lajikkeilla (FOSA)* -hankkeen tutkimuksia. Kyseinen hanke käynnistyi 2015 MMM:n rahoittamana. Ohra-aineisto koostui 72 Pohjoismaisen geenipankin maatiaisesta ja 123 lajikkeesta, joiden kauppaan laskuvuosi vaihteli 1910 luvulta 2010 luvulle. Kokeet järjestettiin silloisen MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Jokioisten pelloilla. Kokeessa oli kaksi typpilannoitustasoa: 35 ja 70 kg N/ha. Lannoitus annettiin NPK-lannoitteena, jolloin vastaavat fosforitasot olivat 4,6 ja 9,2 kg P/ha. Lisäksi lannoittaman koejäsen toimi kontrollina yhdeksälle lajikkeelle (Kuva 1). Ennen puintia kerätyistä satolyhteistä määritettiin jyvä- ja korsimassa sekä N- ja P-pitoisuudet, minkä perusteella laskettiin seuraavia fosforin käytön tehokkuusindeksejä (typen osalta vastaavat):

- Fosforinkäytöntehokkuus PUE: kg sato/kg kasvin käytettävissä oleva P
- Fosforinotontehokkuus PUPE: kg kasvi P/ kg kasvin käytettävissä oleva P
- Fosforin hyväksikäytöntehokkuus PUTE: kg sato/ kg kasvi P
- Fosfori-satoindeksi (PHI): g jyvä P/g kasvi P



Kuva 1. Lennokkikopterista otettu väärävärikuva, jossa nähtävissä ohragenotyyppien eroja kasvussa sekä tyypipitoisuuksissa. Lannoittamattomat ruodut kuvan oikeassa reunassa.

3.1.3. Assosiaatiokartoitus

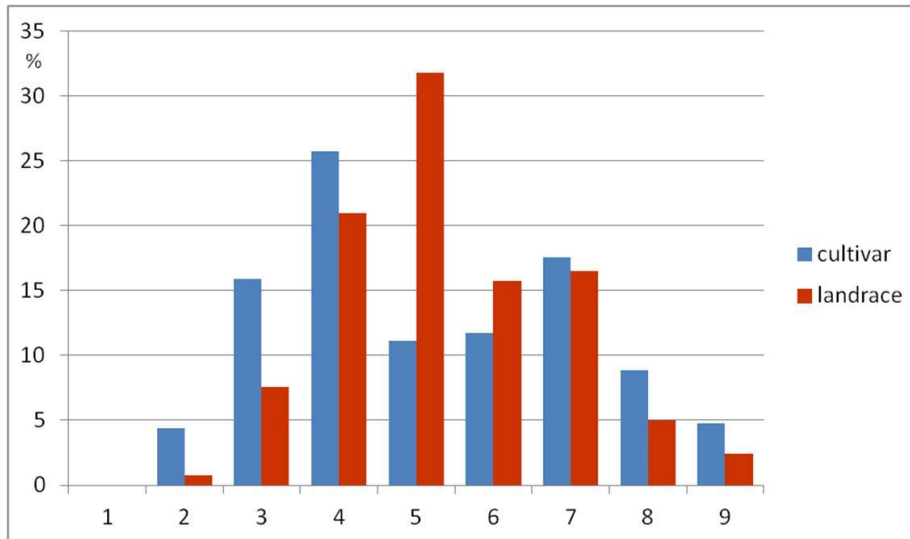
Tutkimuksessa etsittiin kytköksiä verkkolaikun kestävyden ja ravinteiden käytön tehokkuuden ja valintamerkkien (SNP-merkit) välille käyttäen assosiaatiokartoitusta. SNP-tulokset tutkittavista ohranäytteistä saatiin UCLA:sta Los Angelesista. Genotyyppien ryhmittelyyn käytettiin Structure 2.3.2 -ohjelmaa ja itse assosiaatio-analyysiin Tassel 3.0 -ohjelmaa.

3.2. Tutkimustulokset

3.2.1. Ohran siemenlevintäisten tautien kestävyserot ja -lähteet

Lajikkeiden verkkolaikun kestävyys on kasvinjalostustyön tuloksena kehittynyt erityisesti taudin verkkotyyppejä vastaan (Kuva 2). Verkkolaikun verkkotyypin kestävyys oli paras eurooppalaisissa lajikkeissa ja syyrialaisissa maataisissa. Testattujen genotyyppien verkkolaikun laikkutyypin kestävyys oli keskimäärin merkittävästi heikompi kuin verkkotyypin kestävyys. Jordaniaisissa maataisissa esiintyi runsaimmin verkkolaikun laikkutyypin kestävyttä. Pohjoismaisissa maataisissa oli ainoastaan yksi genotyyppi, NGB15162, joka voisi tuoda lisäarvoa nykyisten lajikkeiden verkkolaikun kestävyteen.

Kasvinhuonekokeessa tutkittiin siemenlevintäisen verkkolaikun systeemisyttä. Tavoitteena oli selvittää, eteneekö siementartunta siemenestä ja ensimmäisestä kasvulehdestä edelleen muihin kasvinosiin. Analysointi tehtiin määrittämällä sienepitoisuus kasvun edetessä otetuista näytteistä spesifisellä PCR-menetelmällä. Tulosten mukaan siemenlevintäinen verkkolaikku ei etene ensimmäistä kasvulehteä pidemmälle. Ylemmissä lehdissä esiintyvät oireet olisivat tällöin sekundääristä infektiota primääri-infektiosta tai muista infektiolähteistä tullutta tartuntaa.



Kuva 2. Ohragenotyyppien jakautuminen eri resistenssiluokkiin (1=kestävä, 9=altis). Ohralajikkeissa esiintyi maataisia enemmän erittäin hyvin verkkolaikkua kestäviä genotyyppisiä. Kestävimmät genotyypit (luokka 3) olivat Terno, Britta A, Scarlett, Zita, Elantra, Gant, Odessa, Vada, Balga, CI9819, Doublet, Karat, Ladik, Orbit, Prosa, SLB_19-011 ja Zenit.

Sekä lajikkeiden että maataisten viirutaudin kestävyudessa esiintyi merkittäviä eroja. Kestävin testatuista genotyypeistä oli suomalainen maatiainen Ylenjoki AP0301, NGB4413A (Kuva 3). Viirutaudin kestävimät lajikkeet olivat Jyvä ja Harbinger (Taulukko 2). Sen sijaan Pilvi, Elmeri, Posada, Rambler, Marthe, Sunshine, Prestige, Beatrix ja Iron osoittautuivat hyvin alttiiksi viirutaudille. PCR-testien perusteella osalla lajikkeista on taudinkestävyyden taustalla muu kuin yleisesti tunnettu Vada-resistenssi (Idumeja, Latvijas_Vieteje, Minttu ja Mitja sekä maataisista NGB13021, NGB16881, NGB9315 ja NGB9410). Nämä genotyypit ovat erityisen kiinnostavia viirutaudin kestävyuden kehittämiseksi.

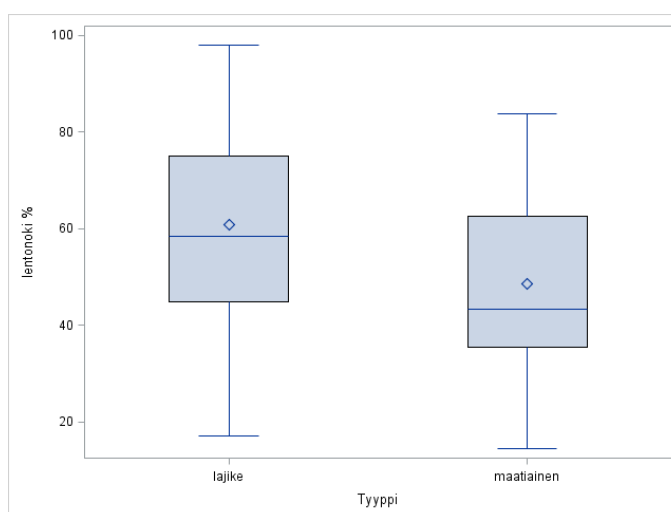


Kuva 3. Testatuista ohragenotyypeistä suomalainen maatiainen Ylenjoki AP0301 (kuvassa keskellä) oli kestävin viirutausta vastaan.

Taulukko 2. Ohran viirutaudin 10 kestäväntä ja 10 altteinta genotyyppiä.

Genotyyppi	Terveet %	Itämis %	Lajike-Listalle (noin)		Kasvinjalostaja / maatiaisen nimi	Alkuperä
NGB4413 A	87	88	1900	landrace	YLENJOKI AP0301	Finland
NGB16881	70	71	1900	landrace	Laukko	Finland
Freja	69	73	1940	cultivar		Sweden
Jyvä	69	70	2000	cultivar	Boreal Plant Breeding Plant Breeding	Finland
NGB13021	68	73	1900	landrace	KARIN	Sweden
Harbinger	67	75	2009	cultivar	Boreal Plant Breeding Plant Breeding	Finland
NGB13482	67	70	1900	landrace	LINUS	Sweden
NGB8234	64	70	1900	landrace	PIIKKIÖNOHRA	Finland
NGB314	64	64	1900	landrace	REHAKKA-65	Finland
Bonus	62	83	1950	cultivar		Sweden
Pilvi	4	16	2005	cultivar	Lantmännen SW Seed	Sweden
Elmeri	4	56	2009	cultivar	Boreal Plant Breeding Plant Breeding	Finland
NGB9529	3	31	1900	landrace	LYNDERUPGAARD	Denmark
Posada	3	53	2011	cultivar	Ackermann Saatztucht	Germany
Rambler	3	46	2009	cultivar	Boreal Plant Breeding Plant Breeding	Finland
Marthe	2	19	2008	cultivar	Nordsaat Saatztucht	Germany
Sunshine	2	15	2011	cultivar	Saatztucht Josef Breun GmbH & Co KG	Germany
Prestige	2	3	2007	cultivar	RAGT Genetique	UK
Beatrix	1	10	2007	cultivar	Nordsaat Saatztucht	Germany
Iron	0	27	2010	cultivar	Nordic Seed A/S Plant Breeding	Denmark

Testatun aineiston lentonoen kestävydessä esiintyi jonkun verran vaihtelua. Maatiaiset olivat keskimäärin lajikkeita kestävämpiä (Kuva 4). Kestävin maatiainen oli Ljubljana KVL 15. Pohjoismaisista maatiaisista kestävin oli Piikkiön ohra. Yksikään testatuista genotyypeistä ei ollut täysin lentonokea kestävä.

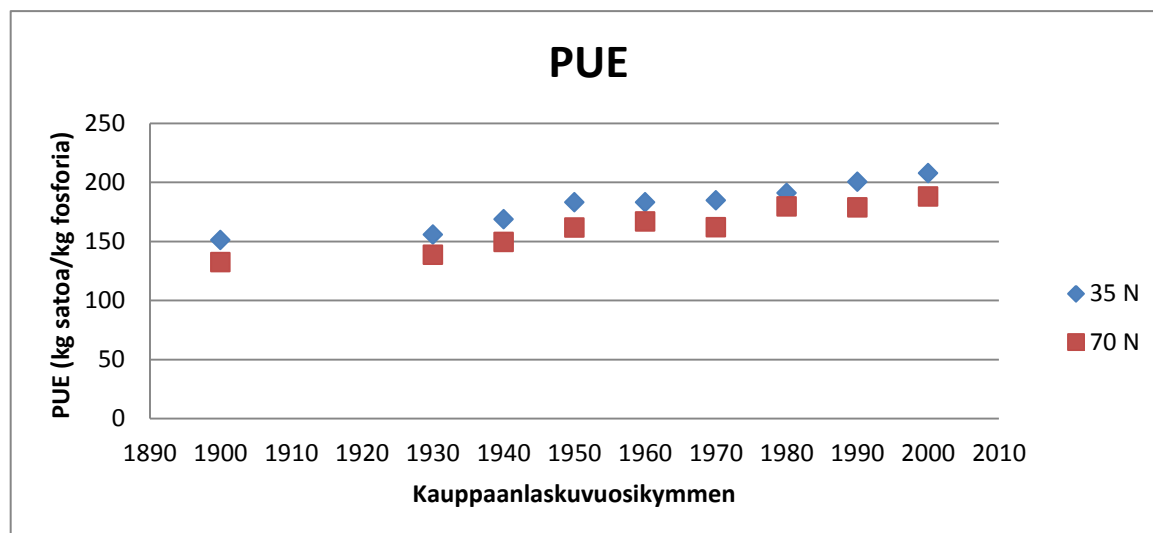


Kuva 4. Maatiaisohrat olivat keskimäärin hiukan testattuja ohralajikkeita lentonoen kestävämpiä.

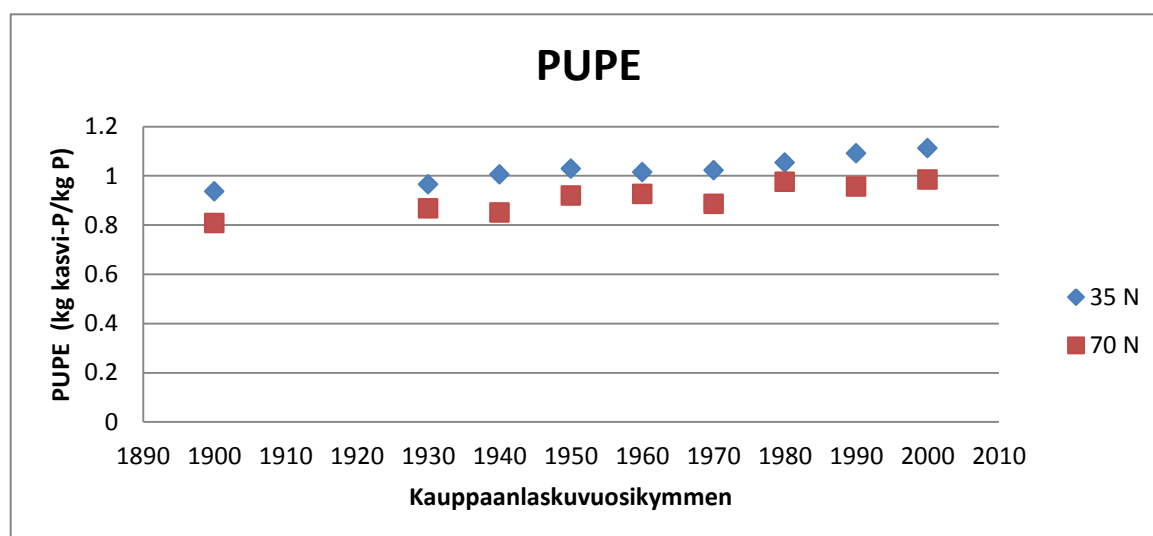
Pohjoismaisesta ohra-aineistosta ei löytynyt varsinaista *F. culmorum* -kestävyyttä. Vaikka kaikkien genotyyppien sato oli sienen tartuttamaa, oli sienen määrässä kuitenkin eroja. Osasta näytteistä määritettiin myös itävyys, jota voimakas *Fusarium*-tartunta alensi merkittävästi. Kahtena vuonna toteutettujen kokeiden ongelmana oli tulosten heikko vuosien välinen korrelaatio. *Fusarium*-kestävyys on kvantitaativista kestävyttä, jonka ilmenemiseen vaikuttavat voimakkaasti ympäristöolot. Siksi kahden vuoden kokeiden perusteella on vaikea varmistua lajikkeiden välisistä taudinkestävyyseroista.

3.2.2. Kasvinjalostus ja ravinteiden käytön tehostaminen

Kattavien koetulosten perusteella kasvinjalostus on merkittävästi parantanut ohralajikkeiston fosforinkäytöntehekkyyttä (PUE) (Kuva 5). Modernimmat lajikkeet tuottavat keskimäärin 50 kiloa enemmän jyväsatoa yhtä kasvin käytettävissä olevaa fosforikiloa kohti (lannoite ja maasta vapautuva P) verrattuna maatiaisiin tai 1930- ja 1940-luvun lajikkeisiin (Kuva 5). Lisäksi fosforinotto (PUPE) on tehostunut (Kuva 6). Maatiaisiin verrattuna, modernit lajikkeet ottavat noin 25 % tehokkaammin fosforia maaperästä.



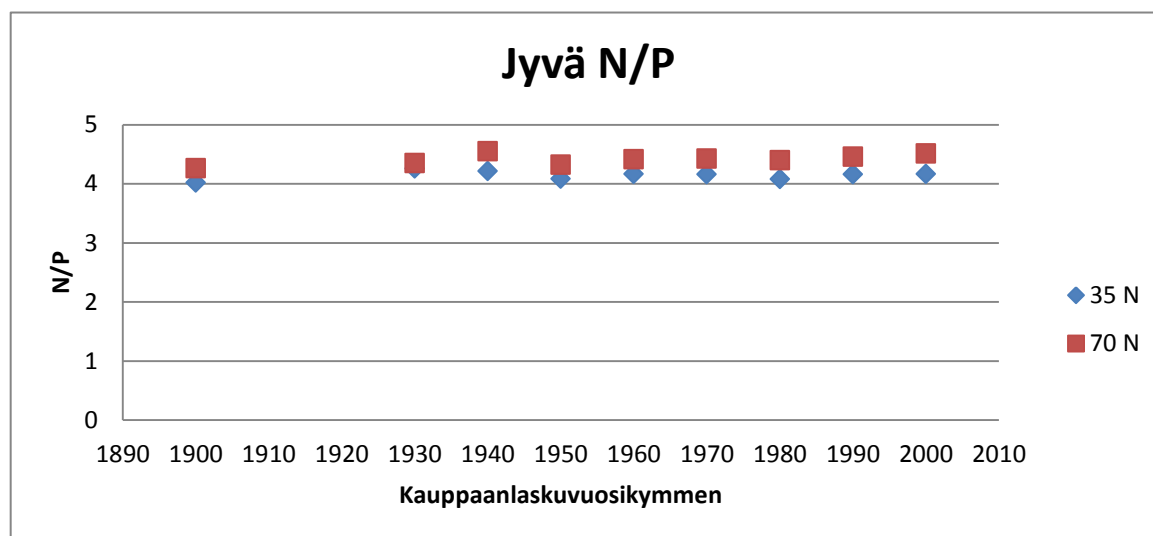
Kuva 5. Fosforinkäytöntehekköisyys (PUE = tuotettu jyväsato kiloina yhtä lannoite- ja maaperän fosforikiloa kohti). Keskiarvo on esitetty kauppaan laskuvuosikymmenen mukaan. Geenipankista saadut maatiaiset on kaikki sijoitettu vuoden 1900 kohdalle.



Kuva 6. Fosforinotontehokkuus (PUPE = kasvi fosforimäärä kiloina yhtä lannoite- ja maaperän fosforikiloa kohti). Keskiarvo on esitetty kauppaan laskuvuosikymmenen mukaan. Geenipankista saadut maatiaiset on kaikki sijoitettu vuoden 1900 kohdalle.

Ohralajikkeiden fosforin ja typen jakautuminen kasvissa ovat kytköksissä toisiinsa, sillä jyvän N- ja P-pitoisuuksien suhteissa ei juuri ilmennyt jalostusvaikutusta (Kuva 7).

Ohralajikkeet siis allokoivat samassa suhteessa typpeä ja fosforia jyvään riippumatta lajikkeen kauppaan laskuvuodesta.



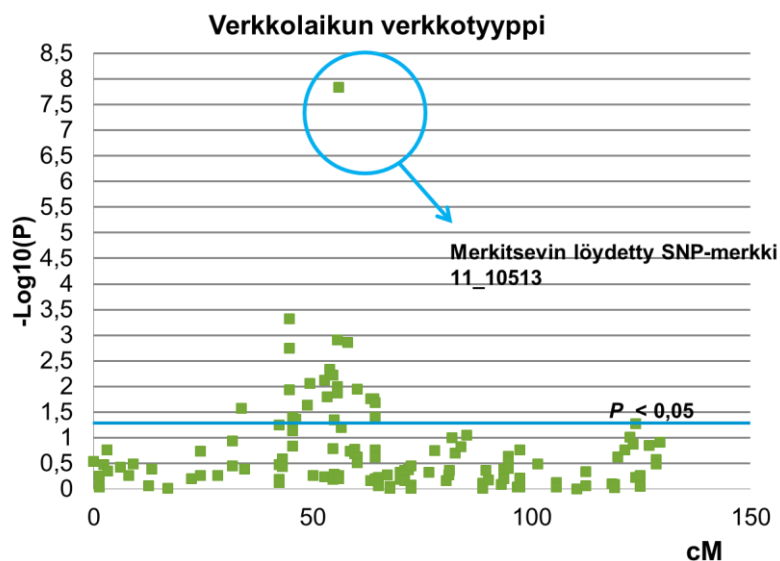
Kuva 7. Jyvä N/P-suhde. Keskiarvo kauppaan laskuvuosikymmenen mukaan. Geenipankista saadut maataiset on kaikki sijoitettu vuoden 1900 kohdalle.

Fosforisato eli jyväsadon mukana pelloilta poistuva fosforin määrä (kg jyvä-P/ha) oli vahvasti kytköksissä lajikkeen typpisatoon (kg jyvä-N/ha) ja nämä molemmat korreloivat puolestaan voimakkaasti jyväsadon kanssa. Typen ja fosforin otto ja käytön tehokkuus ovat selvästi kytköksissä toisiinsa sekä jyväsadon määrään, ainakin tilanteessa, missä kumpikaan ravinne ei ole voimakkaasti kasvua rajoittava tekijä. Luomutuotannossa kasvin käyttöön vapautuvien ravinteiden vapautumisen dynamiikka poikkeaa usein väkilannoitteiden vapautumisdynamiikasta. Tutkimukset eivät kuitenkaan antaneet viitettä siitä, että näillä eroilla (esimerkiksi maaperästä vapautuneen ravinteen eriaikaisuudella) olisi ratkaisevaa merkitystä lajikkeiden paremmuuteen ravinteiden käytön tehokkuudessa.

Vaikka modernit lajikkeet olivat selvästi maataisia ja vanhoja lajikkeita parempia sadontuottokyvyssä ja ravinteiden käytön tehokkuudessa, löytyi maataisista yksittäisiä linjoja, jotka olivat varsin tehokkaita ravinteiden ottajia tai -hyödyntäjiä. Näitä genotyyppejä voidaan mahdollisesti käyttää risteytysjalostuksessa.

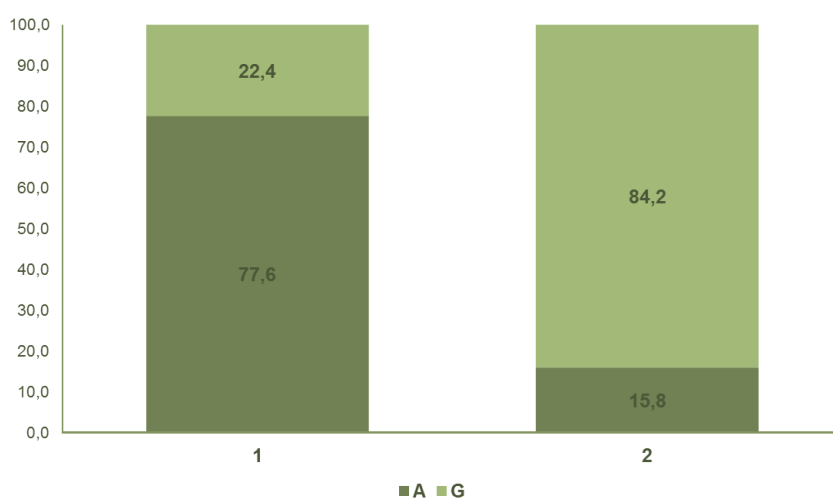
3.2.3. Jalostustyökalujen kehittäminen taudinkestävyyden ja ravinteiden tehostuneen käytön valintaan

Työpaketin tavoitteena oli löytää jalostustyökaluja sekä taudinkestävyyden että ravinteiden, niin typen kuin fosforin, tehostuneen käytön tunnistamiseen käyttäen assosiaatiokartoitusta. Tutkimuksessa löydettiin verkkolaikun kestävyteen liittyviä, jo aiemmissa QTL-kartoituksissa havaittuja kromosomialueita (Kuva 8), mutta myös uusia kytköksiä. Merkitsevimmät kytkökset sijaitsivat kromosomeissa 6H, 2H ja 5H.



Kuva 8. Esimerkki verkkolaikun verkkotyypin liittyvästä merkitsevästä SNP-merkistä (11_10513), joka sijaitsee samalla 6H-kromosomialueella kuin jo aikaisemmin löydetty suurivaikutteinen resistenssigeeni.

Ravinteiden käytön tehostamiseen vaikuttavia merkitseviä SNP-merkkejä löydettiin jokaisesta ohran kromosomista. Typen käytön tehokkuuteen liittyvät merkitsevimmät kytkökset löytyivät kromosomeista 3H, 5H, 2H ja 1H. Samoja vaikuttavia SNP-merkkejä löytyi myös tutkittaessa fosforin käytön tehokkuutta, mutta uusiakin, merkitseviä kytköksiä löytyi 1H-, 2H- ja 5H-kromosomialueilta. Jalostuksen vaikutus näkyi selvästi ravinteiden käytön tehokkuuteen liittyvän merkitsevimmän SNP-merkin 11_20650 positiivisen alleelin lisääntymisenä uudemmissa lajikkeissa (Kuva 9). Assosiaatiokartoituksen avulla löydettyjä taudinkestävyyteen ja ravinteiden käytön tehokkuuteen liittyviä valintamerkkejä voidaan hyödyntää niin tavanomaiseen kuin luomutuotantoon soveltuvien ohralajikkeiden jalostuksessa.



Kuva 9. Esimerkki typen käytön tehokkuuteen liittyvän merkitsevän SNP-merkin 11_20650 alleelifrekvenssit (A/G, %) vanhempien (1 = jalostettu ennen vuotta 1970 mukaan lukien maatiaiset) ja uudempien lajikkeiden välillä (2 = jalostettu vuosien 1970–2010 aikana).

3.3. Toteutusvaiheen arviointi

Luke tuotti COBRA-hankkeessa runsaasti kansallisesti ja kansainvälisesti arvokasta uutta tietoa, aineistoa ja työkaluja niin luomu- kuin tavanomaisen kasvinjalostuksen tueksi. CORE-Organic II -ohjelmassa toteutettu COBRA-hanke oli valtavan laaja ja odotukset verkottumisen suomista mahdollisuuksista olivat selvästi Luken tutkijoilla suuremmat kuin mitä hankkeen myötä toteutui. Valitettavasti hankkeen koordinaattori vaihtui jatkuvalla syötöllä, mikä ei voinut olla vaikuttamatta hankkeen organisoitumiseen, yhteistyön toimintaan ja koko yhteisen, laajan tutkimusprosessin sujuvuuteen. Nämä haittavaikutukset varmasti korostuivat entisestään hankekonsortion jättimäisen koon vuoksi. Työpakettien vetäjien toimintatavat eivät olleet yhtenäisiä, mikä näkyi niin viestinnän kattavuuseroina kuin esimerkiksi koko COBRA-hankekonsortion loppuraportin laadinnassa. Tiedonkulku toimi WP1:n osalta ja saimme tiivistetyt taudinkestävyystulokset osaksi yhteistä loppuraporttia, mutta olimme tippuneet muiden työpakettien jakeluluistoilta emmekä jälkikäteen tehdyistä yhteydenottoyrityksistä huolimatta saaneet ravinteiden käytön tehokkuuteen ja genomisiin työkaluihin liittyviä osuuksia selkeäksi osaksi koko emohankkeen loppuraporttia. Näimmekin, että tämä entisestään korosti kansallisen loppuraportin laadinnan tärkeyttä, jotta tuottamamme tutkimustulokset saadaan kattavasti ja helposti tavoitettavasti kaikkien tarvitsijoiden ulottuville.

3.4. Julkaisut

Tutkimustulosten tiedottaminen on edennyt luontevasti tutkimustoimien etenemisen myötä. Seuraavassa on esitetty listaus hankkeen puitteissa laadituista avainjulkaisuista ja tuotosten popularisoinneista laajalle yleisölle (osa tehty yhteistyössä muiden käynnissä olevien tai päättyneiden hankkeiden kanssa).

- Hakala, K. (esittäjä) & Peltonen-Sainio, P. 2014. Uudet viljelykasvilajikkeet pärjäävät luomussakin. Luomuinstituutti.
- Ingvordsen, C.H., Backes, G., Lyngkjær, M.F., Peltonen-Sainio, P., Jensen, J.D., Jalli, M., Jahoor, A., Rasmussen, M., Mikkelsen, T.N., Stockmarr, A., Jørgensen, R. B. 2015. Significant decrease in yield under future climate conditions: stability and production of 138 spring barley accessions. *European Journal of Agronomy* 63: 105-113.
- Jalli, M. 2013. Oppia viime kesän kasvitaudeista. *Agromakasiini*. Raisioagron asiakaslehti 1/2013: 10-11.
- Jalli, M. (esittäjä), Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Purola, T., Rajala, A., Manninen, O., Ingvordsen, C.H., Jørgensen, R.B. 2014. Diverse utilization of plant genetic resources improves durable plant disease resistance. In: *Genetic Resources for Food and Agriculture in a Changing Climate*, 27-29 January 2014, Lillehammer, Norway. NordGen. 22 p.
- Jalli, M. (esittäjä), Manninen, O., Tenhola-Roininen, T., Jauhiainen, L., Purola, T., Rajala, A., Peltonen-Sainio, P. 2014. Achievements and challenges in breeding for durable net blotch resistance. In: 'Healthy barley for healthy feed and food for the future', 1st International workshop on barley leaf diseases, hotel Valentini, Salsomaggiore Terme, Italy, 03-06 June 2014. p. 38.
- Jalli, M., Jauhiainen, L., Purola, T. 2014. Taudinkestävyuden huomioinen on IPM-viljelyä. *Kasvin-suojelulehti* 47 1: 14-15.
- Jalli, M. & Laine, A. 2015. Viljelijät ja neuvonta testaavat yhdessä lajikkeita. *Maaseudun tiede* 72 1: 2.
- Jalli, M. (esittäjä), Rajala, A., Latvala, S., Peltonen-Sainio, P. 2015. Nutrient use efficacy and resistance to seed borne diseases in European spring barley cultivars and landraces. In: COBRA

Coordinating organic plant breeding activities - for diversity: program and abstracts for the COBRA final conference 24th and 25th November 2015 at Vingsted hotel & conferencecentre, Denmark. Organic Research Centre, Elm Farm. 2 p.

- Jalli, M., Rajala, A., Latvala, S. & Peltonen-Sainio, P. (esittäjä) 2016. Phenotyping nutrient use efficacy and resistance to seed borne diseases for conventional and organic breeding. 2nd General Meeting of COST FA1306, PhenomenAll, Copenhagen, Denmark, April 2016. Pp. 5.
- Laine, A., Jalli, M., Kujala, M., Högnäsbacka, M., Niskanen, M. 2016. Uudet lajikkeet kasvilajikeluetteloon vuonna 2016. *Kylvösiemen* 55 1: 8-10.
- Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Jauhiainen, L. 2013. Heikkokuntoisen siemenen käyttö: onko järkeä. In: *Kasvinsuojelupäivä, Jokioinen 22.1.2013* / Toim. Heikki Jalli. *Kasvinsuojelupäivä*: p. 7-9.
- Jalli, M., Peltonen-Sainio, P., Heinz Ingvorsen, C. & Jørgensen, R.B. 2013. Pohjoismainen ponnistus ilmaston muutokseen sopeutumiseksi. In: *Suomen kansallisen kasvigeenivaraohjelman kymmenvuotisjuhlaseminaari 29.8.2013, Jokioinen: posteritivistelmät*. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. p. 6.
- Peltonen-Sainio, P. 2014. Kasvintuotannon kestävä tehostaminen: tie tulevaisuuteen? In: *Maataloustieteen Päivät 2014, 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritivistelmät / Toim. Risto Kuisma, Nina Schulman, Hanna-Riitta Kymäläinen ja Laura Alakukku*. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 31: p. 47.
- Peltonen-Sainio, P. & Rajala, A. 2014. Use of quality seed as a means to sustainably intensify northern European barley production. *Journal of Agricultural Science* 152 1: 93-103.
- Peltonen-Sainio, P. (esittäjä), Jalli, M. & Rajala, A. 2014. Phenotyping disease resistance, phenology and nutrient use efficiency of a wide barley germplasm adapted to high latitudes. 1st WG1 Meeting of COST FA1306, PhenomenAll – Phenotyping at plant level, Larnaka, Cyprus, April 2016.
- Rajala, A. (esittäjä), Peltonen-Sainio, P., Jalli, M., Tenhola-Roininen, T., Manninen, O. 2014. Improvements in nitrogen use efficiency of barley to meet the climate change induced challenges. In: *Book of abstracts: genetic resources for food and agriculture in a changing climate, 27-29 January 2014, Lillehammer, Norway / eds. Linn Fenna Groeneveld and Anne Kettunen Praebel*. NordGen - The Nordic Genetic Resource Center. p. 49.
- Rajala, A. (esittäjä), Peltonen-Sainio, P., Jalli, M., Tenhola-Roininen, T., Manninen, O. 2014. Typen käytön tehokkuuden parantaminen tuotannon kestäväksi tehostamiseksi. In: *Maataloustieteen Päivät 2014, 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritivistelmät / Toim. Risto Kuisma, Nina Schulman, Hanna-Riitta Kymäläinen ja Laura Alakukku*. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 31: p. 49.
- Rajala, A. (esittäjä), Peltonen-Sainio, P., Jalli, M., Tenhola-Roininen, T., Manninen, O. 2013. Nitrogen use efficiency indices in old and modern barley genotypes. In: *Pre-breeding: fishing in the gene pool. Abstracts of oral presentations and posters of the European Plant Genetic Resources Conference 2013, NordGen, SLU, Alnarp, Sweden / Ortiz, R., ed. NordGen, SLU*. p. 48.
- Rajala, A. & Peltonen-Sainio, P. 2015. Kasvinjalostuksella tehokkaampia ohralajikkeita. *Maatilan Pirkka* 1: 10-11.
- Rajala, A., Peltonen-Sainio, P., Jalli, M., Jauhiainen, L., Tenhola-Roininen, T. & Manninen, O. 2016. One century of Nordic barley breeding history: yield, agronomic traits and nitrogen use efficiency. *Journal of Agricultural Science*, käsikirjoitus korjauksin sarjassa.
- Tenhola-Roininen, T. (esittäjä), Rajala, A., Jalli, M., Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hannukkala, A., Ramsay, L., Manninen, O. 2016. Chromosomal regions associated with nitrogen use efficiency and disease resistance in barley. In: *Maataloustieteen Päivät 2016, 12.-13.1.2016 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritivistelmät / Toim. Laura Alakukku, Nina Schulman ja Tuula Puhakainen*. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 32: p. 214.

4. Tulosten arviointi

4.1. Tulosten käytännön sovelluskelpoisuus

Hanke tuotti uutta ja ajankohtaista tietoa ja ymmärrystä ohralajikkeiden ja -maatiaisten siemenlevintäisten tautien kestävyyseroista, eroista ravinteiden käytön tehokkuudessa sekä havaittujen erojen hyödynnettävyydestä kasvinjalostuksessa. Vaikka hankkeen päätavoite oli tuottaa nykyistä parempia eväitä luomutuotantoon tähtäävien lajikkeiden jalostukseen, hankkeen tuottama tieto ja ymmärrys tukevat yhtäläillä myös tavanomaiseen viljelyyn tähtäävää lajikejalostusta. Niin taudinkestävyuden parantaminen kuin kasvin perinnöllisesti parantunut kyky ottaa ja käyttää ravinteita tehokkaasti ovat tuotannon kestävän tehostamisen avaintoimia ja niillä on tärkeä rooli maatalouden ympäristövaikutusten vähentämisessä mutta myös tilan taloudelliselle kannattavuudelle. Lisäksi taudinkestävyuden parantaminen on eräs ilmastomuutokseen sopeutumisen avaintoimenpide.

Puhtaasti siemenlevintäisiin kasvitautien (viirutauti/lentonoki) kestävyysjalostukseen on panostettu hyvin harvassa eurooppalaisessa kasvinjalostusyrietyksessä. Alttiit genotyypit tulevat jalostusprosessissa harvoin esille, muun muassa siemenen peittauksen vuoksi. Erityisesti viirutaudin kestävyyttä voitaisiin edistää karsimalla altteinta materiaalia jalostusohjelmista.

Luomulajikevalinnassa jo tieto lajikkeiden kestävyyydestä on eduksi ja palvelee viljelijän päätöksen tekoa. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa tuotettua tietoa lentonoen, *Fusarium*-sienen ja viirutaudin kestävyyseroista ei ole saatavilla virallisista lajikekokeista.

Käyttökelpoisimpia taudinkestävyuden lähtöaineistoja ovat eittämättä pohjoismaiset maatiaiset, kun taas syyrialaisien ja jordanialaisten maatiaisten osalta tarvitaan enemmän esijalostusta agronomisesti haitallisten ominaisuuksien karsimiseksi. Kustannus-hyötysuhteen arvioimiseksi on kuitenkin tärkeää, että kestävyysjalostuksella saatava satoetu rinnastetaan kunkin taudin aiheuttamiin satotappioihin ja niiden esiintymisen toistuvuuteen sekä räätälöidyn kestävyuden hintaan vuosina, jolloin tautipainetta ei esiinny.

Ravinteiden käytön tehokkuudessa ilmeni merkittävää jalostuksen tuomaa etua, mutta myös maatiaisista löytyi suuria eroja eri tehokkuutta kuvaavissa ominaisuuksissa. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää kasvinjalostuksessa ja pyrittäessä kombinoimaan tehokasta ravinteiden ottoa yhä paremman ravinteiden hyväksikäyttökyvyn kanssa. Assosiaatiokartoituksen avulla löydettyjä ohran taudinkestävyteen ja ravinteiden käytön tehokkuuteen kytköksissä olevia SNP-valintamerkkejä voidaan hyödyntää lajikkeiden jalostuksessa. Näiden valintatyökalujen avulla positiivisten kromosomialueiden risteyttäminen jalostusmateriaaliin nopeutuu ja valinta tehostuu. Siten uusia valintatyökaluja käyttämällä voidaan nopeuttaa myös luomuohran jalostusta ja lisätä olemassa olevien geenivarojen hyötykäyttöä luomutuotantoa tukemaan.

4.2. Tulosten tieteellinen merkitys

Tehdyt tutkimukset paljastivat ohragenotyyppien taudinkestävyyseroja tärkeimpiä siemenlevintäisiä tauteja vastaan. Vaikka laajat peruskartoitukset tuottivat tärkeää avaintietoa eri genotyyppien herkkyyksistä, eivät ne tuottaneet varsinaisia yllättäviä löydöksiä vaan paljastivat eroja, joita sinällään osattiin odottaakin löytyvän laajasta ohra-

aineistosta. Kiinnostavinta oli viirutaudinkestävyys, joka poikkeaa taustaltaan tunnetusta Vada-kestävyydestä. Lisäksi tutkimukset paljastivat, että tarvitaan lisää tietoa tunnistettujen kestävyysominaisuuksien taustasta, jotta jalostuksessa voidaan hyödyntää uusia, toisistaan poikkeavia kestävyyslähteitä. Tässä assosiaatiokartoitus ja snp-merkit ovat tärkeässä roolissa.

Niin fosforin kuin typen käytön tehokkuudessa havaitut erot mahdollistavat, että kyseisiä ominaisuuksia voidaan jalostaa yhä määrätietoisemmin tulevaisuudessa. Toisaalta jalostajat ovat valinneet epäsuorasti yhä tehokkaammin ravinteita hyödyntäviä genotyyppejä ja tuloksena on kansainvälisestäkin arvioitaessa merkittäviä tehokkuuden parantumisia. Näillä tuloksilla ja käyttämillämme aineistoilla voi ennakoida olevan merkittävää kiinnostusta tiedeyhteisössä.

Assosiaatiokartoituksesta saatuja uusia tietoja taudinkestävyyteen ja ravinnonkäytön tehokkuuteen vaikuttavista kromosomialueista voidaan hyödyntää sekä tutkimus- että jalostustyössä. Tutkimusaineistotiedot voidaan tallentaa geenipankkiin (NordGen), mikä hyödyttää laajaa tutkijakuntaa. Lisäksi assosiaatiokartoitustuloksista kirjoitetaan ainakin yksi kansainvälinen tieteellinen julkaisu.

KASVINJALOSTUS LUOMUTUOTANNON MONIMUOTOISUUDEN TURVAAJANA

COBRA

COORDINATING ORGANIC PLANT BREEDING ACTIVITIES FOR DIVERSITY

Vastuuorganisaatio	Luonnonvarakeskus (Luke) Professori Pirjo Peltonen-Sainio Luonnonvarat ja biotuotanto 31600 Jokioinen +358405221956	
Kesto	2013–2016 (loppuraportti 16.6.2016)	
Rahoitus	Kokonaiskustannukset	201.636 €
	MMM:ltä saatu rahoitus	100.000 €
	Luken omarahoitus	101.636 €

Tiivistelmä

TAVOITTEET

Suomessa toteutetut tutkimukset olivat osa erittäin laajaa CORE Organic II -rahoitteista COBRA-hanketta. Hanke toimi kansallisesti yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa, mikä mahdollisti laajamittaiset tutkimukset. Suomen rooli oli keskeinen osana COBRA-hanketta poiketessaan merkittävästi muiden osallistujamaiden rooleista. Tutkimukset keskittyivät luomutuotannossa kriittisten, siemenlevintäisten tautien kestävyyserojen tarkasteluun, typen ja fosforin käytön tehokkuuserojen tutkimiseen, kestävyydeltään ja tehokkuudeltaan poikkeavien lajikkeiden ja maatiaisten jatkohödynnettävyyden tukemiseen sekä genomisten jalostustyökalujen kehittämiseen.

TULOKSET

Taudinkestävyyserot ohran verkkolaikun verkkotyyppejä vastaan olivat merkittäviä, mutta heikompia laikkutyypin osalta. Viirutaudin kestävyudessa esiintyi merkittäviä eroja erään suomalaisen maatiaisen ollessa kiinnostava resistenssilähde. Osalla resistenssiä omaavista lajikkeista viirutaudin kestävyuden taustalla oli muu kuin yleisesti tunnettu Vada-resistenssi. Ohragenotyyppien lentonoen kestävyyserojen tarkastelu oli haasteellista eikä täysin lentonokea kestävää genotyyppiä onnistuttu tunnistamaan. Aineistosta ei myöskään löytynyt *Fusarium culmorum* -kestävyyttä. Siemenlevintäisten tautien kestävyudessa on otettu merkittäviäkin edistysaskeleita lajikekehityksen myötä ja lisäedistystä voidaan

ennakoida saatavan myös COBRA-hankkeessa tuotettujen tulosten pohjalta.

Ohran ravinteiden käytön tehokkuus on parantunut merkittävästi kasvinjalostuksen myötä mutta määrätietoinen jalostaminen voi edelleen tehostaa niin typen kuin fosforin käyttöä erityisesti kombinoimalla parantunut ravinteiden oton tehokkuus ravinteiden hyväksikäytön tehokkuuden kanssa aiempaa voimakkaammin. Jalostuksen aikaansaannokset ovat merkittäviä molempien ravinteiden osalta ja aineistolla voi ennakoida olevan suurta kansainvälistäkin mielenkiintoa sekä jatkotutkimuksen mahdollisuuksia.

Assosiaatiokartoituksen avulla löydettyjä ohran taudinkestävyyteen ja ravinteiden käytön tehokkuuteen kytköksissä olevia SNP-valintamerkkejä voidaan hyödyntää lajikkeiden jalostuksessa, mikä on omiaan nopeuttamaan jalostustyötä ja lisäämään olemassa olevien geenivarojen käyttöä luomutuotantoa tukemaan.

TULOSTEN ARVIOINTI

COBRA-hankkeen tavoitteena oli löytää keinoja, joilla kasvinjalostus voi tukea luomutuotannon monimuotoisuutta. Tutkimuksemme niin taudinkestävyyden kuin ravinteiden käytön tehokkuuden osalta tukevat vahvasti geenivarojen hyödyntämistä myös monimuotoisuuden lisäämiseksi, varsinaisen primaaritavoitteen eli lajikkeisiin räätälöidyn kestävyyden ja tehokkuuden parantamisen rinnalla. Tutkimustulokset tukevat luomutuotannon ohella yhtä lailla tavanomaista tuotantoa.