

## Omenanviljelyyn kestävyyttä paikallislajikkeista

Tuuli Haikonen<sup>1</sup>, Marja Rantanen<sup>2</sup>, Saila Karhu<sup>1</sup>, Ibrahim Tahir<sup>3</sup>, Larisa Gustavsson<sup>3</sup>, Dag Røen<sup>4</sup>, Hilde Nybom<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Luonnonvarakeskus, Puutarhatuotanto, Toivonlimantie 518, 21500 Piikkiö. [tuuli.haikonen@luke.fi](mailto:tuuli.haikonen@luke.fi)

<sup>2</sup>Luonnonvarakeskus, Laukaa puutarha. Antinniementie 1, 41330 Vihtavuori.

<sup>3</sup>Department of Plant Breeding, SLU Balsgård, Fjälkestadsvägen 459, 291 94 Kristianstad, Ruotsi.

<sup>4</sup>Graminor AS, Njøsavegen 5, 6863 Leikanger, Norja.

### TIIVISTELMÄ

Omenaa viljellään Suomessa 670 ha:n alalla. Kasvanut viljelypinta-ala mahdollistaa omenan tarjonnan myös sesongin ulkopuolella asettaen Suomessa viljeltäville lajikkeille uusia vaatimuksia. Ilmastonmuutoksen myötä vaikeasti torjuttavien tai niiden kasvitautien, joita ei voida suoraan torjua, esiintyminen on yhä yleisempää. Tulevaisuuden omenalajikkeen tulee olla taudinkestävä samalla kun mehukkuuden ja rapeuden tulee yhdistyä hyvään varastokestävyteen. Suomalaiset paikallislajikkeet ovat usein terveitä ja niiden talvenkesto on hyvä. Paikallislajikkeiden perimä idän ja lännen risteyskohdassa tarjoaa monipuolista jalostusmateriaalia, vaikka paikallislajikkeiden alhaiset tai vaihtelevat sadot, hedelmän koko ja rakenne saattavat olla ammattiviljelyn este. Myöskään kestävyydestä uusille kasvintuhoajille ei ole tietoa.

NordApp-hankeessa yhteispohjoismaisen esijalostustutkimuksen tavoitteena on saada tietoa paikallislajikkeiden sekä pohjoisiin olosuhteisiin jalostettujen lajikkeiden ominaisuuksista ja ominaisuuksien perinnöllisestä taustasta. Varastolaikku (*Neofabraea* spp.) heikentää varastoitavan omenan laatua ja ilmenee usein vasta varastoinnin loppuvaiheessa. *Neofabraea*-lajit aiheuttavat myös nuorten versojen näivettymistä ja versokuolio-oireita. Hankkeessa olemme kartoittaneet varastotautien esiintymistä 26 paikallislajikkeen luomuviljelyssä omenoissa ja testanneet eri lajikkeiden alttiutta varastolaikulle. Varastolaikku esiintyi yleisesti kahtena peräkkäisenä vuotena. Eristettyjen taudinaiheuttajakantojen itiö- ja rihmastomorfologian perusteella Suomessa esiintyy ainakin kahta *Neofabraea*-lajia. Osassa paikallislajikkeista esiintyi vain niukasti varastolaikkuja ja niiden kestävyys keinotekoiselle tartutukselle oli hyvä.

Hankkeessa on myös tutkittu Suomessa menestyvien omenalajikkeiden alttiutta hedelmäpuun syöväälle (*Neonectria ditissima*) Ruotsissa ja etsitty DNA-markkeria taudin kenttäkestävyydelle. Taudinaiheuttaja kulkeutuu saastuneen kasvimateriaalin mukana, ja on leviämässä Etelä-Suomeen. Tautia voidaan rajoittaa vain viljelyteknisesti.

Meneillään olevissa tutkimuksissa testataan useiden paikallislajikkeiden ja pohjoisten lajikkeiden kestävyyttä varastolaikulle tartutuskokein. Tulosten perusteella haetaan omenan perimästä kestävyteen liittyviä kandidaattialueita genomilajuisen assosiaatioanalyysillä (GWAS). Lupaavien paikallislajikkeiden ja kaupallisten lajikkeiden välillä tehdään risteytyksiä. Risteytysjälkeläistöä karsitaan taimivaiheessa mm. varastokestävyuden, hedelmäpuun syövän ja eri varastotautien kestävyuden DNA-markkerien avulla.

Tulosten perusteella suomalaisissa vanhoissa paikallislajikkeissa on kestävyysominaisuuksia, joita kannattaa kartoittaa tulevaisuuden omenalajikkeita varten. Saatu tieto lajikkeiden taudinkestävyydestä on hyödyllistä myös luomu- ja IPM-viljelyn lajikevalinnassa.

Asiasanat: omena, jalostus, varastointi, taudinkestävyys, perinnöllisyys

## Johdanto

Omenan viljelypinta-ala on Pohjoismaissa kasvussa ja omenan viljelyalue on laajentunut erityisesti Suomessa. Omenaa viljellään Suomessa 670 ha:n alalla. Omenan satotaso kasvaa viljelytekniisten parannusten ansiosta. Kasvanut tarjonta ja toisaalta kuluttajien kiinnostus kotimaiseen omenaankin myös sesongin ulkopuolella asettaa Suomessa viljeltäville lajikkeille uusia vaatimuksia. Ilmastonmuutoksen ja kansainvälisen taimikaupan yleistymisen myötä vaikeasti torjuttavien tai niiden kasvitautien, joita ei voida suoraan torjua, esiintyminen on yhä yleisempää. Erityisesti sienitaudit hyötyvät kosteammasta ja lämpimämmästä ilmastosta. Kasvinsuojelun muuttuvat käytännöt ja kemiallisen torjunnan vähentämisen tavoitteet vaativat tulevaisuuden omenalajikkeelta taudinkestävyyttä. Kaupallisen menestymisen edellytyksenä omenan mehukkuuden ja rapeuden tulee yhdistyä hyvään varastokestävyyteen.

Yhteispohjoismainen PPP-hanke (Public-Private Partnership, Nordgen) tähtää pohjois-eurooppalaisiin olosuhteisiin sopivien lajikkeiden jalostukseen sekä jalostustoiminnan julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyön tiivistämiseen. Omenan jalostusta ja esijalostustutkimusta edistää NordApp-osahanke (Prebreeding for future challenges in Nordic apples; 2012-2014, 2015-2017). NordApp-hanketta koordinoi Ruotsin Maatalousyliopisto SLU. Suomesta omenahankkeessa toimii Luonnonvarakeskus ja Norjasta kasvinjalostaja Graminor. Hankkeessa on kehitetty jalostajien yhteistyötä, mikä tukee tiedon- ja materiaalinvaihtoa ja voi mahdollistaa yhteiset jalostusohjelmat. Hankkeessa tehdään yhteistutkimusta pohjoisiin olosuhteisiin sopivien lajikkeiden taudinkestävyydestä ja käyttökelpoisuudesta uusiin jalostustarpeisiin.

Pohjoismaiset omenan paikallislajikkeet ovat usein terveitä ja niiden talvenkesto on hyvä. Toisaalta paikallislajikkeiden alhaiset tai vaihtelevat sadot, hedelmän koko ja rakenne saattavat olla ammattiviljelyn este. Myöskään kestävyyydestä Suomeen leviämässä oleville uusille kasvintuhoojille ei ole tietoa. Suomalaista alkuperää olevilla paikallislajikkeilla on kuitenkin jopa uniikki alkuperä itäistä ja läntistä alkuperää olevan omenamateriaalin välissä, mikä tarjoaa monipuolista jalostusmateriaalia. Kansallinen kasvigeenivaraohjelma on määritellyt omenan geenivarakokoelmaan kuuluvat lajikkeet. Näiden lajikkeiden sukulaisuussuhteita on selvitetty geneettisten markkereiden avulla, mikä auttaa suomalaisten lajikkeiden perimän vertaamista tunnettuihin viljelylajikkeisiin.

Varastolaikku (aiheuttajasieni *Neofabraea* spp.) heikentää varastoitavan omenan laatua. Varastotaudin oire, omenan pintasolukosta alkava ja laajeneva mätälaike, ilmenee useilla lajikkeilla vasta varastoinnin loppuvaiheessa. *Neofabraea*-lajit aiheuttavat tautia myös puissa: nuorten versojen näivettymistä ja versokuolio-oireita. Niiden tiedetään olevan myös päärynän (*Pyrus communis*) taudinaiheuttajia. *Neofabraea*-sienisuvun fylogeneettinen asema on vahvistettu mutta suku on vielä niukasti tutkittu. Neljä omenaa mädättävää lajia tunnetaan: *N. perennans*, *N. alba* ja *N. malicorticis*, sekä *Neofabraea*-suvun sienille läheinen anamorfinen laji, *Cryptosporiopsis kienholzii*. Morfologisesti osa lajeista on vaikea erottaa toisistaan. Lajikohtaisesta esiintymisestä ja suhteellisesta runsaudesta Suomessa ei ole aiempaa tietoa. Varastolaikun aiheuttajasienet aiheuttavat myös versokuolio-oireita ja pienten versojen näivettymistä omenapuussa. Epidemiologisesti verso-oireet ovat tärkeitä, sillä niissä sienitaudinaiheuttaja säilyy omenatarhassa, ja niistä sadepisaroiden ja roiskeiden avulla leviävät suvuttomat itiöt tartuttavat kehittymässä olevat omenat. Itiöt tartuttavat jopa vahingoittumatonta omenaa sillä ne säilyvät omenan korkkihuokosissa latenttina infektiona, aiheuttaen taudin vasta varastossa tai varastoinnin päätyttyä.

Hedelmäpuunsyöpä (aiheuttaja *Neonectria ditissima*) on vakava taimituotannon ja viljelyn ongelma Itämeren eteläpuolisissa maissa ja nykyään syöpä esiintyy yleisenä muissa Pohjoismaissa. Suomessa sitä havaitaan Ahvenanmaalla runsaasti ja mantereella paikoin. Taudinaiheuttaja kulkeutuu usein piilevänä saastuneen kasvimateriaalin mukana, ja on leviämässä Etelä-Suomeen. Taudin oireista näkyvin on puuaineksen syöpämäinen kasvu, joka kuristaa puun nestevirtausta. Hedelmätarhoissa tauti leviää itiölevintänä kaikkien vioitusten kautta, mukaanlukien lehtien ja omenoiden kantojen arvet, joten taudin määrää voidaan rajoittaa lähinnä viljelytekniisesti hoitoleikkaamalla. Talvivauriot ovat merkittävä leviämistie ja lisäävät taudin oireita, joten huonosti talvenkestävät lajikkeet kärsivät suhteellisesti enemmän kylmässä ilmastossa.

NordApp-hankeessa yhteispohjoismaisen esijalostustutkimuksen tavoitteena on hankkia ja jakaa tietoa paikallislajikkeiden sekä pohjoisiin olosuhteisiin jalostettujen lajikkeiden ominaisuuksista ja ominaisuuksien perinnöllisestä taustasta. Erityisesti kartoitetaan perinnöllistä kestävyyttä varastoitua omenaa pilaaville varastotaudeille ja omenapuiden kasvukuntoa heikentävälle hedelmäpuunsyövälle. Näitä tauteja vastaan ei tunneta täydellistä kestävyyttä, joten hankkeessa kehitetään menetelmiä perinnöllisen kestävyuden mittaamiseen.

## **Aineisto ja menetelmät**

### ***Varastolaikun kantojen keruu ja tartutuskokeet***

Varastolaikun ja muiden sienitautien esiintymistä varastoidussa omenassa havainnoitiin pääasiassa yhdeltä suomalaiselta luomutilalta peräisin olevien, 26 paikallislajikkeen luomuviljellyissä omenoissa vuosien 2013 ja 2014 sadoista. Näytteet (45 omenaa/lajike) jaettiin kolmeen kerranteeseen ja varastoituihin ilmavasti +3-4 °C lämpötilaan, yli 90 % suhteellisessa kosteudessa tuuletetussa kylmävarastossa. Omenoita havainnoitiin alussa kahden viikon välein ja myöhemmin kuukausittain. Mätänemisoireiset omenat pussitettiin taudinaiheuttajan tunnistamista varten, ja itiöntuotannon lisäämiseksi pussitettuja omenoita pidettiin vuorotellen +15–19 °C ja +3–4 °C lämpötiloissa. Itiörakenteiden morfologia havainnoitiin stereomikroskoopilla ja itiöiden morfologia läpivalomikroskoopilla veteen tai maitohappoon tehdystä itiöpreparaatista. Tarvittaessa sienitaudinaiheuttaja eristettiin mätälaikeun reunalta leikatusta palasta omenaa, joka pintasteriloitiin 70 % etanolilla, huuhdeltiin steriilissä vedessä ja siirrostettiin steriilille elatusalustalle. Elatusalustoina käytettiin PDA- (potato dextrose agar) tai CMA- (corn meal agar) maljoja. Maljoilta havainnoitiin rihmaston ulkoasu sekä itiömorfologia.

*Neofabraea*-sienikantoja kerättiin kantakokoelmaksi, jota ylläpidettiin CMA-maljoilla. Keinotekoista tartutusta varten sienikantoja kasvatettiin CMA-maljoilla. Rihmasto kasvatettiin huoneenlämpötilassa valossa noin kaksi viikkoa. Tuoretta sienikasvustoa otettiin kiekkoporalla (halkaisija 7 mm) tartukkeeksi. Tartutettavat omenat pintasteriloitiin 70 % etanolilla, huuhdeltiin steriilillä vedellä ja annettiin kuivua. Tartutus tehtiin laminaarissa: steriilillä veitsellä tehtiin kunkin omenan valo- ja varjopuolelle tasku, jonka alle tartuke painettiin. Gelatiinia (0,1 g / ml) käytettiin haavan sulkemiseen. Negatiivisena kontrollina omenoita valetartutettiin steriilillä agarilla. Omenat varastoituihin kuten seurantakokeessa ja oireiden kehittymistä seurattiin viikoittain mittaamalla mätälaikeun halkaisija.

Tartutettavien omenalajikkeiden kypsyyssastetta seurattiin tartutuksen aikaan, puolivälissä koetta, sekä kokeen lopussa käyttäen Streifin indeksiä.

Tartutuskokeiden yhteisiksi lajikkeiksi on valittu 30 lajiketta ruotsalaisesta geenivarakokoelmasta. Nämä kuuluvat 1200 omenalajikkeen kokoelmaan, joista kansainvälinen FruitBreedomics-hanke on tehnyt nukleotidipolymorfismin kartoituksen (SNP-genotyping) käyttäen 480 000 oligokoettimen DNA-mikrosirua (Affymetrix).

### ***Hedelmäpuunsyöpä***

Eri lajikkeiden kestävyyttä versosyövälle testattiin tartutuskokein Ruotsissa ja Norjassa. Tartutusta varten koelajikkeista ja kestävästä sekä alttiista kontrollilajikkeista otettiin talvivartteet, jotka joko vartettiin perusrunkoon tai hyödettiin vesiastiassa ja testattiin sellaisenaan. Vartetaimet kasvatettiin vuoden ikäisiksi. Taimet tai oksat tartutettiin sairaiden omenapuiden syöpälaikeista kerätyillä suvullisilla talvi-itiöillä: tarkka määrä itiösuspensiota ( $10^3$  itiötä) pipetoitiin lehtiarpea imitoivaan silmunpoistokohtaan.

Kuoliolaikeiden halkaisijaa mitattiin noin kolmen kuukauden ajan taudin kehittymisen havainnoimiseksi. Tuloksista piirrettiin keskimääräistä taudin etenemistä kuvaava käyrä lajikkeittain. Käyrän alle jäävä ala (AUDPC, area under the disease-progress curve) laskettiin lajikkeiden kestävyuden tilastollista vertailua varten ja eri tekijöiden (lajike, vuosi, kokeen toisto, koepaikka) merkittävyys testattiin varianssianalyysillä (ANOVA).

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Omenahankkeen vuosittaisissa kokouksissa ja työpajoissa on keskusteltu tärkeimmistä tutkittavista taudeista ja kehitetty menetelmiä taudinkestävyyden arvioimiseen. Mukaan on myös kutsuttu hankkeen ulkopuolisia tutkijoita ja jalostajia muista organisaatioista tai maista, ml. Baltian maista. Menetelmiä on onnistuneesti siirretty laboratorion toiseen erityisin lyhyin tutkijavierailuin. Eri jalostajien jalostusohjelmien esittelyä varten ja yhteystietojen keräämiseksi on tehty oma nettisivu. Omenanviljelijöiden tavoittamiseksi hedelmäpuunsiövistä ja varastotaudeista on kirjoitettu vuosina 2012 ja 2013 lehtiartikkeleita eri maiden ammattilehtiin. Näistä taudeista on myös pyydetty havaintoja viljelijöiltä.

Varastotautien kestävyyden testaamiseksi Ruotsissa on aiemmin tehty kokeita tartutusmenetelmän kehittämiseksi *Penicillium*, *Colletotrichum*- ja *Neofabraea*-sienillä. *Neofabraea*-sienillä menetelmää on edelleen kehitetty Suomessa ja Norjassa. Suomessa saatujen alustavien tulosten perusteella agarpalaa sisältävän rihmastotartutuksen käyttö haavatartutuksessa ei aiheuta näkyviä puolustusvasteita omenassa, ja haavakohdan suojaaminen gelatiinilla estää sekundääristen taudinaiheuttajien pääsyn haavakohtaan. Kokeissa on havaittu, että taudin mätäoireen kasvu on huomattavan tasaista.

Hedelmäpuunsiövänkestävyyden arvioimiseen on Ruotsissa ja Norjassa käytöön otettu rinnakkain kaksi menetelmää, joilla saadaan vertailukelpoisia tuloksia: tartutukset suoraan irtoversoihin, ja tartutukset 1-vuotisaisiin vartetaimiin. Vertailevissa kokeissa on löydetty olosuhteet, joilla irtoversoihin tehdyissä kokeissa päästään vartetaimilla tehtyihin kokeisiin hyvin verrattavissa oleviin tuloksiin. Tulokset kuitenkin vaihtelevat vuosittain jonkin verran.

Suomalaisessa luomumenasta tehdyn havainnoinnin perusteella varastolaikkua esiintyi yleisesti kahden peräkkäisen vuoden (2013 ja 2014) sadoissa. Varastolaikkua havaittiin lähes kaikissa näytelajikkeissa, mutta varastolaikun määrä ja ilmenemisen ajoitus vaihteli lajikkeesta toiseen. Osassa paikallislajikkeista tautia esiintyi vain niukasti.

Itiömorfologian perusteella Suomessa esiintyy sekä *Neofabraea alba* -lajia että ainakin yhtä toista *Neofabraea*-lajia. *Neofabraea* havaittiin yli puolessa tapauksista, joissa taudinaiheuttaja tunnistettiin. Muita itiö- tai rihmastomorfoloian perusteella tunnistettuja sienilajeja tai sukuja olivat *Botrytis cinerea* (harmaahome), jota ilmeni merkittävästi, *Colletotrichum acutatum* (mätälaike) ja *Fusarium* spp. Viherhometta (aih. *Penicillium* spp) ilmeni niukasti ja vasta myöhään varastointikaudella, joten aiheuttaja oli todennäköisesti sekundäärinen mädättäjä sekainfektioissa. *Penicillium* omenan pilaajana on yleinen mm. Etelä-Ruotsissa, mutta Suomen ilmastossa sen merkitys on todennäköisesti pienempi. Omenoide käsittelyllä on myös vaikutusta, sillä *Penicillium* tarvitsee ulkoisia vaurioita taudin aiheuttamiseen.

Kantakokoelman eri *Neofabraea*-kantojen taudinaiheuttamiskykyä testattiin tartutuskokein, ja todettiin sienten patogeenisuuden omenalle säilyneen maljakasvatuksessa. Vuoden 2015 tartutuskokeita varten valittiin neljä patogeenista *Neofabraea*-kantaa, joista kaksi edusti *N. alba*-lajia.

Meneillään olevissa tutkimuksissa verrataan useiden paikallislajikkeiden ja pohjoisten lajikkeiden kestävyyttä varastolaikulle tartutuskokein Suomessa ja Ruotsissa. Kokeet toistetaan vuonna 2016. Tavoitteena on verrata yhteensä noin 45 lajikkeen kestävyyttä varastolaikulle, näistä lajikkeista noin 30 on olemassa SNP-tiedot. Alustavien tulosten perusteella lajikkeiden välillä on eroja taudin etenemisnopeudessa. Lisäksi eri sienikantojen tai -lajien välillä on eroa niiden virulenssissa omenalla. Tulosten perusteella haetaan omenan perimästä kestävyyteen liittyviä kandidaattialueita genomilaajuisen assosiaatioanalyysin (GWAS) keinoin.

Noin 30 Pohjoismaissa yleisen omenalajikkeen hedelmäpuunsiövänkestävyyttä on testattu tartutuskokein Norjassa ja Ruotsissa. Kahden vuoden tulosten perusteella Suomen tai Ahvenanmaan ilmastossa menestyvistä lajikkeista osa oli hyvin alttiita (Åkerö, Rubinola, Nanna, Heta, Konsta, Vuokko), osa kohtalaisen kestäviä (Aroma, Discovery, Santana, Valtti, Punakaneli).

## Johtopäätökset

Pohjoismainen yhteistyö geneettisten resurssien karakterisoinnissa ja kokeiden hajauttaminen eri maihin mahdollistaa laajemmat kokeet ja vaikeasti testattavien taudinkestävyysominaisuuksien kartoittamisen. Ilmiasutiedon kertyminen useasta lajikkeesta mahdollistaa genomilaajuisen nukleotidipolymorfismin perustuvat genomisen assosiaatiotutkimuksen hyödyntämisen. Assosiaatiotutkimuksen tuloksilla voidaan nopeuttaa monivuotisten kasvien jalostusta ottamalla käyttöön uusia geneettisiä markkereita jalostusmateriaalin varhaisen vaiheen valintaan. Lähitulevaisuudessa lupaavien paikallislaajikkeiden ja kaupallisten lajikkeiden välillä tehdään risteytyksiä. Risteytysjälkeläistöjä tullaan taimivaiheessa karsimaan kehittyneillä olevien DNA-markkerien avulla mm. varastokestävyuden, hedelmäpuun syövän ja eri varastotautien kestävyuden suhteen.

Pyrkimys vähäiseen torjunta-aineiden käyttöön ja huoltovarmuuteen edellyttää, että uusien kasvintuhoojien leviämiseen varaudutaan aikaisessa vaiheessa ennen taudin yleistymistä tai niiden merkityksen kasvua. Hedelmäpuunsyövän yleistymisen vaikuttaa lajikevalintaan muissa Pohjoismaissa, ja tulee Suomessakin rajoittamaan lajikevalikoimaa taimistoilla ja omenatarhoilla. Saatu tieto lajikkeiden hedelmäpuunsyöväkestävyydestä on erityisen hyödyllistä myös luomu- ja IPM-viljelyn lajikevalinnassa. Edelleenkin useimmista Suomen oloihin riittävän talvenkestävistä lajikkeista ei tunneta niiden kestävyttä, mutta tiedetään että joukossa on useita alttiita lajikkeita.

Alustavat tulokset varastolaikun ilmenemisestä lupaavat, että suomalaisissa vanhoissa paikallislaajikkeissa on kestävyysominaisuuksia varastolaikkua vastaan. Kaikkien eri varastolaikun aiheuttajien lajilleen tunnistamiseksi tarvittaisiin vielä DNA-perusteinen lajimääritys.

Tutkitut hedelmäpuunsyövän ja varastolaikun aiheuttajien aiheuttavat tautia sekä puuaineksessa että hedelmässä. Varastolaikku samoin kuin hedelmäpuunsyövän hedelmissä aiheuttama mätäoire kuuluvat korkkihuokosissa piileviin tauteihin. Vastaavat korkkihuokosten kautta tarttuvat sieni- tai bakteeritaudinaiheuttajat vaivaavat hedelmien lisäksi myös esimerkiksi perunaa ja juureksia varastossa, joten niitä vastaan toimivassa kasvin puolustuksessa voi olla yhteisiä piirteitä.

Tulokset auttavat varautumaan ilmastonmuutoksen tuomaan uuteen uhkaan omenanviljelyn elinkeinolle, lisäävät tietoa omenan paikallislaajikkeiden käyttömahdollisuuksista sekä auttavat ymmärtämään kasvien puolustautumista taudinaiheuttajia vastaan.

## Kirjallisuus

Antanaviciute, L., Fernández-Fernández, F., Jansen, J., Banchi, E., Evans, K. M., Viola, R., Velasco, R., Dunwell, J. M., Troglio, M. & Sargent, D. J. 2012. Development of a dense SNP-based linkage map of an apple rootstock progeny using the *Malus* Infinium whole genome genotyping array. *BMC Genomics* 13: 203.

Abeln, E. C. A., Pagter, M. A. de & Verkley, G. J. M. 2000. Phylogeny of *Pezicula*, *Dermea* and *Neofabraea* inferred from partial sequences of the nuclear ribosomal RNA gene cluster. *Mycologia* 92: 685–693.

Chen, C., Verkley, G. J. M., Sun, G., Groenewald, J. Z. & Crous, P. W. 2015. Redefining common endophytes and plant pathogens in *Neofabraea*, *Pezicula*, and related genera. *Fungal Biology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2015.09.013>.

Beresford, R. M. & Kim, K. S. 2010. Identification of regional climatic conditions favorable for development of European canker of apple. *Phytopathology* 101: 135–146.

Borve, J., Talgo, V. & Stensvand, A. 2015. Apple canker caused by *Neonectria ditissima* in Norway. *IOBC-WPRS Bulletin* 110: 105–106.

Edney, K. L. 1956. The rotting of apples by *Gloeosporium perennans* Zeller & Childs. *Annals of Applied Biology* 44: 113–128.

Garkava-Gustavsson, L., Mujaju, C., Sehic, J., Zborowska, A., Backes, G. M., Hietaranta T. & Antonius, K. 2013. Genetic diversity in Swedish and Finnish heirloom apple cultivars revealed with SSR markers. *Scientia Horticulturae* 162: 43–48.

Garkava-Gustavsson, L., Zborowska, A., Sehic, J., Rur, M., Nybom, H., Englund, J.-E., Lateur, M., Van de Weg, E. and Holfors, A. 2013. Screening of apple cultivars for resistance to European canker, *Neonectria ditissima*. *Acta Hort.* 976: 529-536.

Ghasemkhani, M., Liljeroth, E., Sehic, J., Zborowska, A. & Nybom, H. 2015. Cut-off shoots method for estimation of partial resistance in apple cultivars to fruit tree canker caused by *Neonectria ditissima*. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 65: 412–421.

Heinonen, M., Kinnanen, H., Valo, R., Antonius, K. & Ala-Kaarre, J. 2014. Nurkkapuut kansan sydämessä. Kirjassa: Kiviharju, Elina (toim.). Viljelykasvien geenivarat talteen ja käyttöön – Suomen kansallisen kasvigeenivaraohjelman 10-vuotisseminaarin (29.8.2013) satoa. MTT Raportti 139, 40–43 s. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Tietopaketti/Kasvigeenivarat/mttraportti139.pdf>

Henriquez, J. L., Sugar, D. & Spotts R. A. 2006. Induction of cankers on pear tree branches by *Neofabraea alba* and *N. perennans*, and fungicide effects on conidial production on cankers. *Plant Disease* 90: 481–486.

Spotts, R. A., Seifert, K. A., Wallis, K. M., Sugar, D., Xiao, C. L., Serdani, M. & Henriquez, J. L. 2009. Description of *Cryptosporiopsis kienholzii* and species profiles of *Neofabraea* in major pome fruit growing districts in the Pacific Northwest USA. *Mycological Research* 113: 1301–1311.

Weber, R. W. S. 2014. Biology and control of the apple canker fungus *Neonectria ditissima* (syn. *N. galligena*) from a Northwestern European perspective. *Erwerbs-Obstbau* 56: 95–107.

Weg, W. E. Van De. 1987. Note on an inoculation method to infect young apple seedlings with *Nectria galligena* Bres. *Euphytica* 36: 853–854.