



■ Katri Himanen



■ Arja Lilja

Katri Himanen ja Arja Lilja

Havupuiden siementen laatua alentavat mikrobit ja niiden torjunta

Himanan, K. & Lilja, A. 2011. Havupuiden siementen laatua alentavat mikrobit ja niiden torjunta. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 127–139.

Siementen mukana kulkeutuu mikrobeja, lähinnä erilaisia sieniä. Pääosa näistä on harmittomia, mutta jotkut lajeista alentavat siementen itävyyttä ja aiheuttavat tauteja itävissä siemenissä tai sirkkataimissa. Mikrobien määrä ja lajisto riippuvat käpyjen ja siementen käsittelystä. Tartunnat ovat yleensä peräisin maasta tai tuoreiden käpyjen mukana kerätyistä ylivuotisista kävyistä. Mikrobit leviävät käpyjen keräysastioiden ja siementen käsittelylinjastojen välityksellä. Hyväkuntoiset siemenet kestävät varastoinnin aikana mikrobeja paremmin kuin vaurioituneet tai fysiologisesti heikentyneet. Jotta mikrobien aiheuttamat ongelmat pysyisivät mahdollisimman vähäisinä, kävyt on kerättävä vasta kun siementen ovat täysin kehittyneitä. Siementen käsittelytilojen puhtauteen on kiinnitettävä huomiota tuotantoketjun joka vaiheessa, sillä sieni-itiöt ja rihmaston kappaleet kulkeutuvat tehokkaasti ilmavirtausten mukana.

Asiasanat: kuusi, mänty, taimipolte, ruostesienet, *Sirococcus conigenus*, käpyjen keräys, karistus, siementen varastointi

Yhteystiedot: *Himanan*, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimipaikka, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki; *Lilja*, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka. Sähköposti katri.himanen@metla.fi
Hyväksytty: 19.4.2011

Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff112127.pdf>

I Johdanto

Kuusi (*Picea abies* (L.) Karst.) ja mänty (*Pinus sylvestris* L.) ovat metsänuudistamisessa tärkeimmät puulajimme. Männyn siementä kuluu Suomessa vuosittain noin 10 000 kg, pääasiassa metsäkylvöihin (Metsätilastollinen vuosikirja 2010). Kuusta käytetään lähes pelkästään taimitarhakylvöihin, vuosittain 1 100–1 500 kg (Metsätilastollinen vuosikirja 2010). Vaatimukset siementen itävyydelle ja laadulle ovat taimitarhakylvöissä metsäkylvöjä kovemmat. Erityisesti jalostetusta, eli siemenviljelyssiemenestä on kuusella jatkuva pula. Toisaalta mäntyä joudutaan Pohjois-Suomessa varastoimaan jopa vuosikymmeniä harvoin toistuvien hyvien siemenvuosien vuoksi, joten itävyyden säilyminen hyvänä varastoinnissa on tärkeää.

Havupuiden tuleentuneet siemenet ovat siemenkuorta ja kuoren alla olevia kalvorakenteita lukuun ottamatta elävää solukkoa ja niitä tulee käsitellä elävänä materiaalina (Tillman-Sutela ym. 1998). Näin ne poikkeavat esimerkiksi viljakasvien siemenistä, joissa suurin osa solukosta on kuollutta. Havupuiden siemenet kestävät kuitenkin hyvin kuivumista ja säilyvät hyvin kuivassa ja kylmässä (Nygren 2003). Tästä syystä ne eivät ole erityisen alttiita mikrobeille verrattuna esimerkiksi tammenterhoihin, joita ei voida kuivata keruun ja idätyksen välillä (Nygren 2003). Siementen sienille on tyypillistä, että sama mikrobilaji voi esiintyä monien kasvilajien siemenissä (Anderson 1986, Mittal ym. 1990).

Useat sienilajit voivat tuhota siemenen tai aiheuttaa siemenen mukana kulkeutuessaan tauteja. Käpyjen ja siementen pinta ei ole koskaan täysin puhdas. Grammassa kuusen tai männyn siementä on arvioitu olevan 50–150 000 sieni-itiötä tai rihmanpalaa (Urošević 1961). Siemenissä yleisesti esiintyvillä sienillä on erilaisia tapoja levitä siementen mukana, esimerkiksi erilaisina itiöinä, rihmaston paloina tai muina kestoasteina (Richardson 1996, Kolotelo ym. 2001). Vastaavasti siemenet ovat kehittyneet kestämään mikrobirtuntoja ja niinpä monet mikrobit eivät ole siemenille tai niistä kasvaville taimille haitallisia (Kolotelo ym. 2001).

Useimmat havupuiden siementen mukana kulkeutuvista sienilajeista ovat kosmopoliitteja, mutta toistaiseksi Suomi on vielä säästynyt monilta haittalajeilta (Anderson 1986, Mittal ym. 1990). Il-

mastonmuutoksen ja kansainvälisen siemenkaupan seurauksena Pohjoismaihin voi kuitenkin tulla uusia taudinaiheuttajia (Talgo ym. 2010, Lilja ym. 2010a), kuten *Caloscypha fulgens* (Pers.) Bound. (suvuton aste: *Geniculodendron pyriforme* Salt) tai *Gibberella circinata* Nirenbeg & O'Donell (suvuton aste *Fusarium circinatum* Nirenbeg & O'Donell). Näistä ensiksi mainittu on Pohjois- ja Etelä-Amerikassa yleinen siementen varastopatogeeni (Epnors 1964, Sutherland 1978, Sutherland ja Woods 1978). *Gibberella circinata* aiheuttaa puolestaan useilla mäntylajeilla pihkakoroksi nimetyn taudin (Storer ym. 1997). Molempia sieniä on jo tavattu Euroopassa tuontisiemenissä (Schröder ym. 2002, Perez-Sierra ym. 2007, Talgo ym. 2010). Euroopan komissio antoi vuonna 2007 päätöksen, jolla *Gibberella circinata*-sienen kulkeutumista EU:n alueelle ja alueen sisällä pyritään ehkäisemään (Komission päätös 2007/433/EY) rajoittamalla mäntyjen (*Pinus* spp.) ja douglaskuusen (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) käpyjen, siementen ja taimien tuomista EU:hun ja siirtämistä EU-valtiosta toiseen. Päätökseen päädyttiin, kun sientä havaittiin metsänviljelyaineistossa Pyreneiden niemimaalla. Mäntyjen ja douglaskuusen siemeniä voi tuoda Suomeen ainoastaan, mikäli maahantuoja on saanut tuomalleen viljelyaineistolle kasvinterveystodistuksen. Suomessa laki kasvinterveyden suojelemisesta (702/2003) sekä Maa- ja metsätalousministeriön asetus kasvinterveyden suojelemisesta (17/08) säättävät kasvintuhoojen hävittämiseksi ja leviämisen estämiseksi tehtävistä toimenpiteistä.

Mikrobit aiheuttavat taloudellisia tappioita siementen tuottajille vähentämällä kävyistä saatavien hyvien siementen määrää ja alentamalla itämistarmoa varastoinnin aikana. Siemenlevintäiset taudit aiheuttavat puolestaan taimituottajille saantotappioita. Tämän katsauksen tarkoituksena on antaa yleiskäsitys niistä haitoista, joita mikrobit voivat aiheuttaa havupuiden siemenille, kuvata lajistoa, joka alentaa siementen laatua sekä kertoa niiden torjuntamahdollisuuksista.

2 Siementen mikrobit

2.1 Kukintojen kautta käpyihin ja siemeniin leviävät lajit

Ruostesienet tarttuvat talvi-itiöiden välityksellä kuuseen kukinnan aikana ja siementen kehitys häiriintyy niiden vaikutuksesta. Kuusentalvikkiruoste (*Chrysomyxa pirolata* Wint.) muodostaa pikkukuromat ja helmi-itiöt kuusen käpysuomujen ulkopinnalle ja kesä- ja talvi-itiöt talvikkilajien (*Pyrola* sp., *Orthilia secunda* (L.) House) lehtien alapinnalle (Gäumann 1959, Kaitera ym. 2009). Myös kuusentuomiruoste (*Thekopsora areolata* (Fr.) Magn) talvehtii väli-isännällä eli tuomella tai muilla *Prunus*-lajeilla. Tuomiruosteen helmi-itiöt syntyvät kuitenkin käpysuomujen alapinnalle (Gäumann 1959) (kuva 1). Suomessa kuusentuomiruosteen on havaittu tuottavan itiöitä saman vuoden kävyissä heti kesäkuussa, kun taas kuusentalvikkiruosteella ne syntyvät ja alkavat levitä myöhemmin, vasta heinäkuussa (Kaitera ym. 2009).

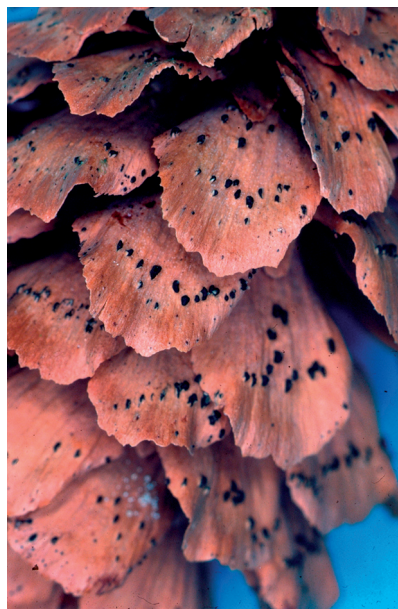
Talvikkiruosteen itiöitä on löydetty myös siementen sisältä (Tillman-Sutela ym. 2004). Hyvänä käpyvuonna 2000 osa kuusen siemeneristä iti huonosti, vaikka siemenet olivat ehjiä ja täysiä. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvista nähtiin, että sekä alkiota ympäröivissä kerroksissa että siementen pinnalla oli merkkejä sienitartunnasta. Itiöiden rakenteen perusteella pääteltiin, että oli kyse kuusentalvikkiruosteesta (Tillman-Sutela ym. 2004). Sen sijaan siementen pintarakenteissa, joista puuttui suojaava vahakerros, löytyi toista vaillinais-sieniin kuuluvaa lajia *Thysanophora penicillioides* (Roum.) Kend., joka tunnetaan mm. neulaskarikkeen hajottajana (Tillman-Sutela ym. 2004, Koukol ym. 2008).

2.2 Kävyistä siemeniin siirtyvä *Sirococcus conigenus*

Havupuilla esiintyvä sieni *Sirococcus conigenus* (D.C.) P.F. Cannon & Minter tartuttaa sekä kasvussa olevia versoja että käpyjä. Käpyjen pintaan syntyy tummia kuromapulloja (kuva 2), joissa syntyvät kuromaitiöt levittävät tautia paitsi siemeniin myös ympäristön puihin (Sinclair ym. 1987). Metsässä



Kuva 1. Pitkittäissuunnassa halkaistu, kuusentuomiruosteen (*Thekopsora areolata*) infektoima käpy. Mustiksi kesän aikana muuttuvat itiöpesäkkeet kehittyvät käpysuomujen alapinnalle (K. Himanan).



Kuva 2. *Sirococcus conigenus* -sienen kuromapullot kehittyvät käpysuomujen yläpinnalle (Jack Sutherland).



Kuva 3. *S. conigenus* tappama kuusen sirkkataimi (Metsä/Erkki Oksanen).

sieni alentaa puiden kasvua, kun vuosikasvaimista osa kuolee (Halmschlager ym. 2000). Metsiköissä *S. conigenus* on myös yleinen seurannaistuhooja paleltumissa tai tuomiruosteen käyristämissä latvaversoissa (Kujala 1950, Halmschlager ym. 2000, Tian Fu ja Uotila 2002). Infektoituneitten siementen välityksellä sieni leviää sirkkataimiin aiheuttaen niiden sairastumisen ja kuoleman (kuva 3). Tartunnan saaneeseen taimeen kehittyy kuromapulloja, joissa kehittyvät kuromaitiöt levittävät tautia edelleen (Sutherland ym. 1981). Taimitarhoilla samoin kuin metsässä sieni tarttuu joko kasvin puutumattomiin osiin tai vauriokohtiin ja aiheuttaa latvan taipumisen tai korojen synnyn versoon (Lilja ym. 2005). Tyypillistä tälle sienelle on, että sairaat taimet eivät esiinny ryppäinä, vaan yksittäin laajemmalla alueella. Taudin leviäminen taimesta toiseen aiheuttaa kuitenkin enemmän tappioita kuin tavallinen taimipolte.

2.3 Ympäristöstä siemeniin siirtyvät sienet

Monet puiden siemenissä esiintyvät sienet, kuten *Alternaria*-, *Botrytis*-, *Chaetomium*-, *Fusarium*-,

Epicoccum-, *Phoma*-, *Phomopsis*-, *Trichothecium*- ja *Rhizoctonia*-lajit, voivat aiheuttaa taimipoltetta tai juurilahoa (Lilja 1979, Lilja ym. 1992, Sutherland ym. 2002, Talgo ym. 2010). Nämä sienet ovat yleisiä maassa ja leviävät paikasta toiseen maan mukana, useimmat myös ilman kautta itiöiden avulla (Lilja 1979, Lilja ym. 1992, Sutherland ym. 2002, Talgo ym. 2010). Taimipolte on havu- ja lehtipuilla tavattava tauti, jonka seurauksena itävät siemenet tai pienet sirkkataimet kuolevat pian kylvön jälkeen. Ns. maanpäällisessä taimipolteessa oireena on sirkkavarren nekroosi lähellä kasvualustan pintaa, jolloin taimi vääntyy ja kaatuu (Lilja ym. 2010b).

Osa sienistä, kuten *Cladosporium*-, *Penicillium*- ja *Aspergillus*-sukujen sienet, taas heikentävät itämistarmoa (Urošević 1961, Lilja 1979, Sutherland ym. 2002). Se, miten nämä sienet alentavat siemenen laatua riippuu siitä kuinka hyvin pystytään estämään olemassa olevien itiöiden ja muiden lisääntymisyksiköiden itäminen varastoinnin ja idätyksen aikana. Siemenen fysiologinen tila vaikuttaa lisäksi siihen, minkälainen vaikutus olemassa olevalla sienitartunnalla on. Monet sienilajit, jotka ovat yleensä harmittomia, aiheuttavat vanhoja siemeniä idätettäessä ongelmia. Näitä nk. varastosieniä ovat mm. *Penicillium*- ja *Aspergillus*-sukujen sienet sekä *Carloscypha fulgens*, joka kasvaa vain viileässä (Lilja 1979, Sutherland ym. 2002). Sen sijaan *Trichoderma*-suvun sienet, jotka ovat yleisiä siemenillä, ovat harmittomia tai jopa hyödyllisiä (Timonin 1964, Sutherland ym. 2002). Tässä suvussa on lajeja,

Yleisyys

Ns. varastosienet: <i>Penicillium</i> sp. <i>Aspergillus</i> sp. <i>Cladosporium</i> sp.	Ruostesienet: <i>Chrysomyxa pirolata</i> <i>Thekopsora areolata</i>
<i>Trichoderma</i> sp.	Taimipoltesienet: <i>Alternaria</i> -, <i>Botrytis</i> -, <i>Chaetomium</i> -, <i>Fusarium</i> -, <i>Epicoccum</i> -, <i>Phoma</i> -, <i>Phomopsis</i> -, <i>Rhizoctonia</i> - ja <i>Trichothecium</i> -sukujen lajit
	<i>Sirococcus conigenus</i>

Haitallisuus

Kuva 4. Kaavakuva Suomessa kävyissä ja havupuiden siemenissä esiintyvien sienien yleisyydestä ja haitallisuudesta.

jotka ovat antagonisteja patogeenisille mikrobeille (Finch-Savage ym. 2003, Grodnitskaya ja Sorokin 2007). Kuvaan 4 on koottu suuntaa-antava esitys männyn ja kuusen kävyissä ja siemenissä esiintyvien sienten yleisyydestä ja haitallisuudesta.

2.4 Muut siementen mukana kulkeutuvat mikrobit

Paitsi sieniä, siementen mukana voi kulkeutua bakteereja, viruksia ja levien kaltaisia mikro-organismeja. Idätystesteissä tyhjien tai muiden itämättömien kuusen ja männyn siementen päällä ja ympärillä toisinaan havaittava limamainen kasvusto on bakteerimassaa (kuva 5). Havupuilla esiintyvän bakteeri- ja viruslajiston yleisyydestä ja tartuntatavoista ei ole juurikaan tietoa. Kuusen siementen sisältä on eristetty mm. *Pseudomonas* ja *Rahnella*-sukujen bakteereja, joilla on havaittu olevan taimen kasvua edistäviä ominaisuuksia ja jotka voivat haitata patogeenisten mikro-organismien kasvua (Cankar ym. 2005). Männyn siemenistä eristettyjen bakteerien on toisaalta todettu lisänsen *Fusarium avenaceum* (Corda, Fr.) Sacc. sienien patogeenisuutta (Lilja ym. 1995). Myös useiden muiden kasvilajien, mm. omenan (*Malus*), siemenistä on eristetty bakteereja (Mundt ja Hinkle 1976).

Toistaiseksi virustauteja, kuten kirsikan kierrelehti-virusta ja mosaiikkiviruksia on tavattu vain lehtipuilta ja ne voivat levitä siitepölyn ja siementen välityksellä (Cooper 1976, Bandte ja Büttner 2001, Bargaen ym. 2009). Siementen mukana leviää myös *Phytophthora cactorum* (Lebert et Cohn) Schröter, joka tuhoaa mm. pyökin (*Fagus* sp.) pähkinöitä ja tammen (*Quercus* sp.) terhoja (Procházková ja Jancarek 1991).

3 Olosuhteiden vaikutus mikrobeihin

Sieni-itiöt itävät ja rihmastot kasvavat parhaiten lämpimässä (15–22 °C) ja kosteassa (RH 60–80%) (Sutherland ym. 2002). Siementen sienissä on kuitenkin lajeja, jotka viihtyvät alhaisissa lämpötiloissa. Eräät yleiset lajit, kuten harmaahome (*Botrytis cinerea* Pers. ex Nocca & Balb.), itävät vielä 0 °C:n lämpötilassa, kun kosteutta on riittävästi (Petäistö



Kuva 5. Idätystestissä kuusen siemenen päälle on kasvanut limamaista bakteerimassaa. Siemenen päällä ja idätyspaperilla kasvaa lisäksi *Penicillium*-homesientä. (K. Himanen).

2006). Siementen stratifiointi eli siementen pitäminen kosteassa ja kylmässä siemenhorroksen purkamiseksi saattaa lisätä sienten määrää (Gordon ym. 1976, Axelrood ym. 1995, Hoefnagels ja Linderman 1999, James ja Dumroese 2006). On myös huomiotava, että lajisto samassakin siemenessä muuttuu ajan myötä (Whittle 1977). Heti keruun jälkeen lajeja on runsaammin, mutta varastoinnin aikana lajisto yksipuolistuu. Haitallisten *Fusarium*-sienten määrän on havaittu lisääntyvän käpyjen varastoinnin aikana pohjoisamerikkalaisella mäntylajilla (*Pinus elliottii* Engelm.) (Fraedrich ja Miller 1995). Iso-Britanniassa tehdyssä tutkimuksessa mm. *Penicillium*-lajien havaittiin lisääntyvän männyn siemenessä varastoinnin aikana (Whittle 1977).

4 Siemenen puhtauden testaus

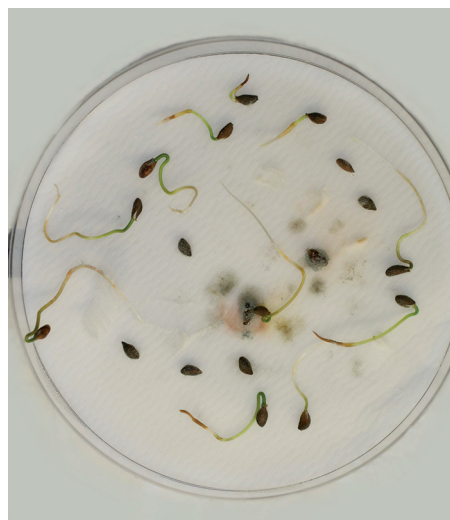
Ensimmäisen käsityksen siemenen laadusta voi saada silmämääräisellä tarkastelulla. Hyönteisten

vioittamissa tai rikkoutuneissa siemenissä on usein myös sienitartunta. Epätavallisen suuri roskien, esim. lenninsiipien palasten määrä siemenräsässä ennakoit huonoa laatua. Röntgentutkimus paljastaa mekaaniset vauriot ja tyhjät siemenet sekä mahdollisen ruostetartunnan. Siemenen itävyyttä suodatinpaperialustoilla testattaessa saadaan käsitys siitä kuinka paljon ja mitä sienilajeja siemenräsässä on (kuva 6). Sieni-itiöiden määrää sienten pinnalla voidaan tutkia mikroskooppisesti tai viljelemällä siementen huuhteluvettä (Sutherland ym. 2002). Mikrobin patogeenisuuden arvioimiseksi lajin tunnistamisen lisäksi voi olla tarpeen selvittää, mistä lajin kannasta on kyse. Varsinaisia viljelymenetelmiä on useita ja menetelmän valinta on kiinni siitä mitä mikrobia etsitään (Sutherland ym. 2002). Aiemmin immunologiaan perustuvat ELISA-testit olivat valtasemassa (Mitchell ja Sutherland 1986), mutta nykyisin tehokkaammat, DNA:han ja PCR-reaktioon pohjautuvat menetelmät ovat yleisimmin käytössä. Näiden haitta tai etu, samoin kuin immunologistenkin menetelmien kohdalla, on se, että on tiedettävä mitä haetaan. PCR-testauksissa etsitään tiettyjä mikrobeja niitä tunnistavien alukkeiden avulla. Uusimmat DNA-menetelmät, joilla saadaan selville kaikki näytteessä olevat mikrobit sekvensoimalla tietyt geenialueet parantavat testauksen tehokkuutta (Kwaśna ja Bateman 2009, Munkvold 2009).

5 Tartuntalähteet ja tartuntojen estäminen

Sienet leviävät helposti karistusvaiheessa ja varastoinnin aikana (Mittal ja Wang 1987, Sutherland 1987, Fraedrich ja Miller 1995). Niinpä on tärkeää pyrkiä välttämään tartunta ennen näitä vaiheita. Koska käpy- ja siemeniä käsitellään peräkkäin samoilla linjastoilla, yksi saastunut siemenräs voi tartuttaa useita eriä (Sutherland 1987, Sutherland ym. 2002).

Hyvän tuloksen varmistamiseksi keruu-, karistus- ja siementen käsittelyketjun suunnittelu on tärkeää (Almqvist ym. 2007). Näin keruu voidaan tehdä oikeaan aikaan ja välttää mm. käpyjen tarpeettoman pitkiä varastointiaikoja maastossa ja karistamalla. Siementen tuleentumisaste vaikuttaa tautiriski-



Kuva 6. Kuusen siemeniä idätystestissä. Itämättömistä siemenistä osan päällä kasvaa harmaata homesienikasvustoa. Osa itäneiden siementen sirkkajuurista on infektoituneita, mikä näkyy juuren kärjen rusketumisena ja nekroosina. (K. Himanen).

(Bloomberg 1967, Fraedrich ym. 1994). Pohjois-amerikkalaisella mäntylajilla (*P. elliotii*) patogeenisten sienten esiintymisen siemenissä sekä sienten aiheuttamien tautien määrän on havaittu riippuvan keräysajankohdasta (Fraedrich ym. 1994). Sienten ja tautitapausten määrä on tutkimuksen mukaan täysin tuleentuneita siemeniä suurempi siemenissä, joiden kypsyminen on kesken (Fraedrich ym. 1994). Tutkimuksessa havaittiin myös, että maakosketus lisää saastuneiden siementen osuutta, kun käpyjen kehitys on vielä kesken (Fraedrich ym. 1994). Myöhemmissä keräyksissä maakosketuksella ei sen sijaan ole tutkimuksen mukaan vaikutusta sienitartuntojen tai tautitapausten määrään (Fraedrich ym. 1994). Kypsymättömien käpyjen ja siementen vesipitoisuus on tuleentuneita korkeampi, mikä selittää niiden suurempaa alttiutta sienille. Monilla havupuilla, mm. männyllä, siemenkuoren rakenteet sekä kuoren alla olevat kalvorakenteet kypsyvät viimeisinä (Tillman-Sutela ym. 1998).

Keräyspaikan ympäristössä olevat sairaat puut ja erityisesti siemenviljelyksillä ruosteiden väli-isäntinä toimivat tuomet ja talvikit lisäävät tartuntariskiä. Myös puissa olevat ylivuotiset tuomiruosteiden tartut-

tamat kävyt voivat toimia tartuntalähteinä (Kaitera ym. 2009). On havaittu, että siemenviljelysten kloonit poikkeavat toisistaan herkkydessään käpy- ja siementuholaishyönteisille sekä ruostesienille (Siitonen 2008). Uusia viljelyksiä perustettaessa tämä tulisikin ottaa huomioon.

Keräyksissä on huolehdittava siitä, että ylivuotisia käpyjä ei kerätä. Vanhat kävyt voivat olla patogeeneiden tai muiden sienten saastuttamia ja olla erityisesti käpyjen varastoinnin aikana sienten lisääntymispaikkoja (Sutherland ym. 2002). Esimerkiksi *Sirococcus conigenus* leviää siemeniin käpyeriin joutuneiden ylivuotisten käpyjen välityksellä (Sutherland ym. 1981). Ylivuotiset kävyt ovat tuoreisiin verrattuna pehmeitä ja niiden käpysuomut ovat raollaan. Myöskään tuoreita, mutta hyönteisten selvästi vaurioitettamia käpyjä tai käpyjä, joissa on silmin nähtäviä homepilkkuja tai -itiöitä ei pidä kerätä (Portlock 1996, Kolotelo ym. 2000, Almqvist ym. 2007, Helenius 2008).

Mikäli käpyjen mukana tulee kerätyksi humusta, pintakasvillisuutta, oksia, neulasia tms. maan kanssa kosketuksissa ollutta ainesta, sienet voivat levitä käpysäkeissä kaikkiin kerättyihin käpyihin ja siemeniin (Sutherland 1987, Eremko ym. 1989). Näin käy helposti erityisesti metsikkökeräyksissä, kun kävyt kerätään maassa olevista latvuksista. Sienitartunta voi tapahtua nopeasti, muutamissa kymmenissä tunneissa, käpyjen ollessa kosketuksessa maahan (Fraedrich ym. 1994). Sitkankuusella (*Picea sitchensis* (Bong) Carr.) haitallista *Geniculodendron pyriforme* -sientä on tavattu maasta kerättyistä kävyistä karistetuissa siemenissä, mutta ei lainkaan puusta suoraan kerättyjen käpyjen siemenissä (Sutherland ja Woods 1978).

Roskia voidaan poistaa kävyistä keräyksen jälkeen ennen varastointia. Kävyt voidaan esimerkiksi kaataa seulan päälle, jolloin neulaset ym. roskat saadaan erilleen kävyistä (Portlock 1996). Siemenviljelyksillä roskien seulontaa tehdään nykyisin traktorikäyttöisillä rumpuseuloilla (Helenius 2010). Käpysäkkeihin ja -kontteihin tulisi kuitenkin pyrkiä keräämään vain tuoreita käpyjä. Myös keräysastiat, muu keräysvälineistö ja käpysäkit voivat toimia tartuntalähteinä, mikäli niiden puhtaudesta ei huolehdita (Kolotelo ym. 2001). Kiinteät keräysastiat ym. välineistö voidaan puhdistaa esim. kuumalla höyryllä (Kolotelo ym. 2001) tai vedellä (>60 °C).

Keräyssyöksen ja -ajankohdan säät vaikuttavat myös tartuntariskiä (Portlock 1996, Helenius 2008). Kosteat ja lämpimät olosuhteet suosivat sieniä. Kävyt tulee kerätä mahdollisimman kuivina (Portlock 1996, Kolotelo ym. 2001, Helenius 2008). Mikäli kävyt joudutaan keräämään liian märkinä tai niiden mukana tulee kerätyksi lunta, kuivaaminen hyvin ilmastoidussa tilassa voi olla tarpeen ennen pidempiaikaista varastointia (Eremko ym. 1989).

Käpyjä joudutaan hyvinä käpyvuosina varastoimaan jopa kuukausia ennen karistusta. Varastointiolosuhteet vaikuttavat siementen laatuun ja mikrobien määrään (Kolotelo ym. 2001). Käpyjen varastointia maastossa on vältettävä, sillä maastossa olosuhteisiin ei voida vaikuttaa. Ulkosäilytyksen riskejä ovat liian korkea lämpötila (Eremko ym. 1989, Almqvist ym. 2007) tai märkien käpyjen jäätyminen (Almqvist ym. 2007). Lämpötilan noustessa siementen vararavintoaineiden kulutus nopeutuu ja mikrobien elintoiminnot vilkastuvat. Kosteiden käpyjen jäätyessä siemeniin voi syntyä pakkasvaurioita. Lisäksi jäätyneet kävyt joudutaan sulattamaan ennen karistusta. Sulatus on tehtävä hallitusti matalassa lämpötilassa.

Karistamalla kävyt on säilytettävä viileässä ja hyvin ilmastoidussa tilassa, jotta käpyjen kosteus ja lämpötila pysyvät riittävän alhaisina (Almqvist ym. 2007). Käpyjen lämpötila tulee pitää alle 15 °C:n (Almqvist ym. 2007). Käpysäkkejä ei tule säilyttää päällekkäin kasattuna ainakaan pitkiä aikoja, sillä tämä estää ilman liikkumisen säkkien ja käpyjen ympärillä ja vaikeuttaa lämpötilan kontrollointia. Lämpötila nousee käpysäkeissä myös ”itsestään” käpyjen ja mikrobien elintoimintojen seurauksena, joten varaston ilman lämpötila ei aina kerro totuutta käpyjen olosuhteista.

Siementen karistamisen ja puhdistamisen yhteydessä olosuhteet voivat olla mikrobien lisääntymiselle suotuisat. Vesikäsitelyissä, joilla pyritään siementen puhdistukseen ja lenninsiipien erottamiseen tai käpyjen uudelleen kostutuksessa ennen karistusta, luodaan olosuhteet, joissa itiöt tai muut kestoasteet voivat itää. Koska nämä vaiheet eivät yleensä ole vältettävissä, on muusta hygieniasta pidettävä mahdollisimman hyvää huolta. Jos siemenerien välinen mikrobitartunta halutaan välttää täysin, siementen käsittelylinjastot on desinfioitava jokaisen siemenrännin käsittelyn jälkeen. Tämä on

kuitenkin hyvin työlästä. Linjastot on hyvä puhdistaa niin usein kuin mahdollista, mutta erityisesti puhdistaminen kannattaa tehdä kun metsikkösiemenerien jälkeen käsitellään siemenviljelyseriä, joissa on todennäköisesti vähemmän mikrobeja, pitkään varastoitujen käpyerien käsittelyn jälkeen tai kun edellisen siemenereän epäillään muusta syystä olleen mikrobiologiselta laadultaan huono.

Myös linjastoa ympäröivän tilan puhtaudesta olisi huolehdittava, sillä sieni-itiöt ja rihmaston kappaleet kulkeutuvat tehokkaasti paikasta toiseen ilmvirtausten mukana. Linjastoja voidaan pestä vedellä huuhtelemalla tai painepesurilla. Jotta etanoli tai muut desinfiointiaineet puhdistaisivat pintoja tehokkaasti, irtolika on ensin pestävä pinnoilta pois. Kun käpyerä otetaan karistamalla vastaan tai kun karistus aloitetaan, tulee myös arvioida erän kuntoa. Mikäli kävyt ovat huonokuntoisia ja pahasti homeisia, kannattaa harkita erän hylkäämistä.

Karistus- ja puhdistusvaiheessa on myös tärkeää käsitellä siemeniä mahdollisimman hellävaraisesti. Mitä huonommassa kunnossa siemen on, sitä helpommin sienet voivat sen tuhota. Sienet myös leviävät tehokkaasti vaurioituneiden siementen mukana. Niinpä esim. lenninsiipien irrotuksessa syntyviä vaurioita on vältettävä.

Siementen vesipitoisuus varastoinnissa ja varastointilämpötila vaikuttavat sekä siementen kuntoon, että siementen kasvumahdollisuuksiin. Havupuiden sie-

menet on varastoitava 5–6 %:n vesipitoisuudessa, alle +5 °C:n lämpötilassa (Huss 1967, Ryynänen 1980, Suszka ym. 2005). Lämpötilan ja siementen vesipitoisuuden noustessa siementen elintoiminnot vilkastuvat, mikä nopeuttaa niiden vanhenemista. Pitkäaikaisessa varastoinnissa on suositeltavaa käyttää pakkasvarastointia (–10...–15 °C) (Suszka ym. 2005). Männyn ja kuusen siementen vesipitoisuus asettuu varastoinnin kannalta oikeaan arvoon ilman suhteellisen kosteuden ollessa 30–40 % (Nygren 2003). Tässä kosteudessa sienet eivät pysty kasvaamaan, joten riittävän kuivissa varasto-olosuhteissa siemenereän mikrobiologinen laatu säilyy hyvin.

6 Taimivaiheen tautien torjunta

Huolimatta huolellisesta käpyjen keruusta ja siementen käsittelystä, siemeniin voi jäädä taimipoltetta tai muita siementen kautta leviäviä tauteja aiheuttavia mikrobeja. Pelkkä sienien tai muiden mikrobien läsnäolo ei kuitenkaan usein riitä aiheuttamaan tautia, vaan myös taimien kasvatusolosuhteet vaikuttavat taudin kehittymiseen (Urošević 1961, Mittal 1983, Lilja ym. 1995). Kasvuolosuhteista kasvualustan ja ilman korkea kosteus, alhainen lämpötila, vähäinen valo ja kasvualustan korkea pH edesauttavat tautien

Taulukko 1. Keinoja siementen määrän rajoittamiseksi siemenissä ja tautitapausten välttämiseksi (Thomsenia ja Schmidtä 1999 mukaillen).

	Tavoite		
	Tartunnan välttäminen tai rajoittaminen	Siementen kasvun rajoittaminen	Tautitapausten vähentäminen
Toimintatavat	Keräys oikeaan aikaan	Käpyjen oikea varastointi maastossa ja karistamalla	Idätys ja taimien kasvattaminen sopivissa olosuhteissa
	Käpyjen keräys suoraan puusta	Vaurioituneiden siementen ja roskien poisto siemenereästä	Fungisidit ja muut kemialliset käsittelyt
	Tuoreiden ja terveiden käpyjen keräys	Siementen oikea varastointi	Antagonististen mikrobien käyttö
	Keräysvälineistön puhdistaminen		
	Siementen hellävarainen käsittely		
	Siementen käsittelylinjastojen ja karistamon hygieniasta huolehtiminen		

kehittymistä (Wall ja Magasi 1976, Huang ja Kuhlman 1990). Itämisen ja sirkkataimien alkukehityksen kannalta suotuisien olosuhteiden ylläpito onkin hyvää tuhojen torjuntaa (Landis 2000).

Haitallisten sienten torjuntaan on kokeiltu ja käytetty useassa maassa *Trichoderma*-suvun sieniä (Sutherland ym. 2002, Finch-Savage ym. 2003, Grodnitskaya ja Sorokin 2007). *Trichoderma virens* (Miller et al.) Arx peittauksen on havaittu torjuvan tehokkaasti tammen (*Quercus robur* L.) terhoja tuhoavaa *Sclerotinia pseudotuberosa* Rehm sientä sekä saprofyttisiä sieniä (Finch-Savage ym. 2003). Venäjällä paljasjuuritaimituotannossa männyn taimisaantoa on onnistuttu parantamaan liottamalla siemeniä *Trichoderma*-sienten sekä *Pseudomonas*- ja *Bacillus*-bakteerisukujen itiöitä sisältävässä vedessä (Grodnitskaya ja Sorokin 2007). Nämä mikrobit kilpailevat maassa haitallisten sienten kanssa, vähentäen tautitapauksia (Grodnitskaya ja Sorokin 2007).

Useimmat sienet ja virukset kuolevat tai niiden määrä vähenee 2–3 tunnin 40–45 °C:n lämpökäsittelyssä (Finch-Savage ym. 2003). Tehokas käsittelyaika ja -lämpötila riippuvat kuitenkin siemenestä ja sienilajista. Esimerkiksi *Fusarium moniliforme* J. Shield sieni kestää 60 °C:n lämpökäsittelyn (Sutherland ym. 2002). Siemenen desinfiointi voi kuitenkin johtaa ojasta allikkoon, sillä esimerkiksi *Penicillium*-lajit hyötyvät lajiston köyhtymisestä ja siementen kannalta hyödyllisten lajien tuhoutumisesta (Sutherland ym. 2002). Korkea lämpötila voi lisäksi vahingoittaa siementä tai tappaa sen (Thomson ja Schmidt 1999).

Siementen puhdistamiseksi taudinaiheuttajista on kokeiltu erilaisia kemiallisia käsittelyitä, kuten siementen liottamista natriumhypokloriitti- ja vetyperoksidiliuoksissa sekä fungisidikäsitteilyitä. Patogeenien määrää on onnistuttu vähentämään näillä käsittelyillä eräillä havupuilla (Ching 1959, James 1985, Riffle ja Springfield 1968, Mittal 1983, James 1985, Galaaen ja Venn 1979, James ym. 1996, Barnett ym. 1999). Käsittelyt vaikuttavat kuitenkin eri tavoin eri mikrobeihin, jolloin niiden seurauksena haitallisten sienten määrä voi myös lisääntyä haittomien kuollessa (James 1987, James ym. 1996). Kemikaalit voivat myös alentaa itämistarmoa ja -kapasiteettia tai aiheuttaa epänormaalien itujen kehittymisen (Riffle ja Springfield 1968, Galaaen ja Venn 1979, Mittal 1983). Kemikaalien käyttö aiheuttaa

lisäkuluja ja niiden käsittelyyn liittyy työ- ja ympäristönsuojeluongelmia (Barnett ym. 1999).

Ennen kylvää tehtävien kuusen siementen liotuskäsittelyiden on todettu aikaistavan itämistä (Himanan ym. 2010). Erityisesti Pohjois-Amerikassa on kokeiltu ja käytetty siementen huuhtelua ennen kylvää monilla puulajeilla itämisen nopeuttamiseksi ja taudinaiheuttajien huuhtelemiseksi siemenistä (James 1985, James 1987, Campbell ja Landis 1990, Kolotelo ym. 2001). Kuusen siemenillä Suomessa tehdyissä kokeissa liotus tai siementen huuhtelu ei ole kuitenkaan vaikuttanut taimipolteen esiintymiseen (Himanan ym. 2010). Siementen ”peseminen” ei näin ollen ole tehokas keino torjua tauteja, mutta toisaalta liotuskäsittelyt eivät näytä lisäävän tautiriskiä. Taulukkoon 1 on kerätty tietoa siitä miten sienten määrää voidaan rajoittaa siemenissä.

7 Johtopäätökset

Hyvälaatuinen, tasaisesti itävä siemen takaa parhaan tuloksen taimituotannossa ja metsäkylvöissä. Yksisiemenkylvön yleistyttyä taimitarhoilla on erityisen tärkeää, että jokainen kylvetty siemen itää. Kennojen täydennysistutus lisää työtä ja kustannuksia. Siementen kypsyyden, käsittelyketjun ja varastointiolosuhteiden lisäksi havupuiden siementen itämistarmoon ja -kapasiteettiin vaikuttavat myös niissä olevat mikrobit. Metsänviljelyssä tärkeimmät puulajimme tulevat hyvin toimeen niiden siemenissä ja kävyissä useimmiten esiintyvän mikrobilajiston kanssa. Poikkeuksen tähän tekevät kuusentuomi- ja kuusentalvikkiruoste, jotka voivat tuhota merkittävän osan kuusen käpysadosta. Kun siemeniä kerätään vain terveistä, tuoreista kävyistä, ja ajankohtana, jolloin siemenet ovat tuleentuneet, saadaan laadultaan parasta siementä. Mikäli siemeniä käsitellään karistuksessa ja varastoinnissa oikein, sienten vaikutus itävyyteen on vähäinen. Taimipolteen esiintymisen yleisyydestä taimitarhoilla ei ole olemassa tarkkaa tietoa. Useimmiten taimipolteeseen kuolee 0–2 % sirkkataimista. Kasvatusolosuhteiden optimointi vähentää ratkaisevasti sienien mahdollisuutta haitata itävää siementä ja siitä kehittyvää sirkkatainta, vaikka siementen pinnalla olisi sienen itiöitä tai muita asteita.

Siementen mukana voi kuitenkin levitä myös selvästi haitallisia mikrobeja. Joissakin siemenerissä itävyyttä alentavia ja tauteja aiheuttavia mikrobeja on keskimääräistä enemmän. Mikrobien määrän vähentämiseksi ja tautiriskin pienentämiseksi tulisi huolehtia ympäristön puhtaudesta koko siementen tuotantoketjun ajan. Tartunta on useimmiten peräisin maakosketuksesta tai ylivuotisista kävyistä, joissa mm. ruosteet ovat tavallisia. Käpysäkkeihin kulkeutuva maa ja karikke lisää käpyjen riskiä saada tartunta. Kävyistä tartunta voi siirtyä siemeniin ja varastointivaiheiden aikana levitä edelleen uusiin siemeniin. Myös likaiset asiat ja käsittelylinjat ovat tartuntalähteitä.

Täysin ”puhtaiden”, mikrobeista vapaiden siementen tuottaminen ei ole mahdollista eikä tarpeellista. Jotta mikrobien aiheuttamat ongelmat sekä siementen tuottajien että käyttäjien kannalta pysyisivät mahdollisimman vähäisinä, tulisi tuotantoketjun hygieniaan kuitenkin kiinnittää huomiota. Siementen mikrobilajisto ja mikrobien tai niiden itiöiden määrä eivät siis ole pelkän sattuman seurausta.

Kiitokset

Artikkelin kirjoittamisen on mahdollistanut Suomen kulttuurirahaston (Alma ja Jussi Jalkasen rahasto) myöntämä apuraha kuusen siementen lajittelun kehittämistä käsittelevän väitöskirjan tekoon. Erikoistutkija Markku Nygreniä, tutkija Eevamaria Haralaa sekä käsikirjoituksen tarkastajia kiitämme kommentteista ja muutosehdotuksista.

Kirjallisuus

- Almqvist, C., Rosvall, O. & Wennström, U. 2007. Fröplantager – anläggning och skötsel. Skogsforsk. 97 s.
- Anderson, R.L. 1986. Check list of micro-organisms associated with tree seeds in the world. 1985. General Technical Report SE-39. Asheville, NC. U.S. Department of agriculture (USDA), Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 34 s.
- Axelrood, P.E., Neumann, M., Trotter, D., Radley, R., Shrimpton, G. & Dennis, J. 1995. Seedborne Fusarium on Douglas-fir: Pathogenicity and seed stratification method to decrease Fusarium contamination. *New Forests* 9: 35–51.
- Bandte, M. & Büttner, C. 2001. A review of an important virus of deciduous trees – cherry leaf roll virus: occurrence, transmission and diagnosis. *Pflanzenschutzberichte* 59: 1–19.
- von Barga, S., Grubits, E., Jalkanen, R. & Büttner, C. 2009. Cherry leaf roll virus – an emerging virus in Finland. *Silva Fennica* 43: 727–738.
- Barnett, J.P., Pickens, B. & Karrfalt, R. 1999. Improving longleaf pine seedling establishment in the nursery by reducing seedcoat microorganisms. Tenth biennial southern silvicultural research conference. Saatavissa: http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/uncaptured/ja_barnett010.pdf. (Viitattu 1.10.2010).
- Bloomberg, W.J. 1967. Disease of Douglas-fir seeds during cone storage. *Forest Science* 15(2): 176–181.
- Campbell, S.J. & Landis, T.D. 1990. Managing seedborne diseases in western forest nurseries. *Tree Planter's Notes* 41(3): 3–7.
- Cankar, K., Kraigher, H., Ravnkar, M. & Rupnik, M. 2005. Bacterial endophytes from seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *FEMS Microbiology Letters* 244: 341–345.
- Ching, T.M. 1959. Activation of germination in Douglas fir seed by hydrogen peroxide. *Plant Physiology* 34: 557–563.
- Cooper, J.I. 1976. The possible epidemiological significance of pollen and seed transmission in the cherry leaf roll virus/*Betula* spp. complex. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 170: 17–27.
- Epnors, Z. 1964. A new psychrophilic fungus causing germination failure of conifer seeds. *Canadian Journal of Botany* 42: 1589–1604.
- Eremko, R.D., Edwards, D.G.W. & Wallinger, D. 1989. A guide to collecting cones of British Columbia conifers. Canadian Forest Service & British Columbia Ministry of Forests. 115 s.
- Finch-Savage, W.E., Clay, H.A., Budge, S.P., Dent, K.C., Clarkson, J.P. & Whipps, J.M. 2003. Biological control of *Sclerotinia pseudotuberosa* and other fungi during moist storage of *Quercus robur* seeds. *European Journal of Plant Pathology* 109: 615–624.
- Fraedrich, S.W. & Miller, T. 1995. Mycoflora associated with slash-pine seeds from cones collected at seed

- orchards and cone-processing facilities in the south-eastern USA. *European Journal of Forest Pathology* 25: 73–82.
- , Miller, T. & Zarnoch, S.J. 1994. Factors affecting the incidence of black seed rot in slash pine. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 1717–1725.
- Galaaen, R. & Venn, K. 1979. Effects of benomyl on the germination of seeds of *Picea abies* (L.) Karst. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 34: 229–236.
- Gordon, A.G., Salt, G.A. & Brown, R.M. 1976. Effect of pre-sowing moist-chilling treatments on seedbed emergence of Sitka spruce seed infected by *Caloscypha fulgens* Salt. *Forestry* 49: 143–151.
- Grodnitskaya, I.D. & Sorokin, N.D. 2007. Application of microbes to the soils of Siberian tree nurseries. *Eurasian Soil Science* 40(3): 329–334.
- Gäuman, E. 1959. Die Rostpilze Mitteleuropas. *Kryptogamenflora Schweiz* 12. Buchdruckerei Buchler & Co. Bern. 1407 s.
- Halmschlager, E., Gabler, A. & Andrea, F. 2000. The impact of *Sirococcus* shoot blight on radial and height growth of Norway spruce (*Picea abies*) in young plantations. *Forest Pathology* 30: 127–133.
- Helenius, P. 2008. Käpyjen keruuhohje. *Taimiutiset* 4/2008: 24–25.
- 2010. Metsäpuiden siemenhuollon laatuketju. *Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja* 160. 100 s.
- Himanen, K., Helenius, P. & Nygren, M. 2010. Liotuskäsittelyiden vaikutus kuusen siementen itämiseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2010: 103–114.
- Hoefnagels, M.H. & Linderman, R.G. 1999. Biological suppression of seedborne *Fusarium* spp. during cold stratification of Douglas fir seeds. *Plant Disease* 83: 845–852.
- Huan, J.W. & Kuhlman, E.G. 1990. Fungi associated with damping-off of slash pine seedlings in Georgia. *Plant Disease* 74: 27–30.
- Huss, E. 1967. Om långtidsförvaring av barrskogsfrö. *Studia Forestalia Suecica* 46. 59 s.
- James, R.L. 1985. Pathogenic *Fusarium* on spruce seed from Towner Nursery, North Dakota. *USDA Forest Service. Forest Pest Management. Report* 85-23. 9 s.
- 1987. Effects of water rinse treatments on occurrence of fungi on spruce seed from the Towner nursery, North Dakota. *Forest Pest Management. Report* 87-5. 4 s.
- , Dumroese, R.K. & Wenny, D.L. 1996. Western larch seed – contaminating fungi and treatments to reduce infection and improve germination. *Forest Health Protection. Report* 96-7. 13 s.
- & Dumroese R.K. 2006. Investigations of *Fusarium* Disease within Inland Pacific Northwest Forest Nurseries. Keynote Address. *Julkaisussa: Guyon, J. C. comp. 2006. Proceedings of the 53rd Western International Forest Disease Work Conference; 2005 August 26 – 29; Jackson, WY, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region.*
- Kaitera, J., Tillman-Sutela, E. & Kauppi, A. 2009. Seasonal fruiting and sporulation of *Thekopsora* and *Chrysomyxa* cone rusts in Norway spruce cones and alternate hosts in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 1630–1646.
- Kwaśna, H. & Bateman, G.L. 2009. Microbial communities in roots of *Pinus sylvestris* seedlings with damping-off symptoms in two forest nurseries as determined by ITS1/2 rDNA sequencing. *Forest Pathology* 39: 239–248.
- Kolotelo, D., Van Steenis, E., Peterson, M., Bennett, R., Trotter, D. & Dennis, J. 2001. Seed handling guidebook. *British Columbia, Ministry of Forests, Tree Improvement Branch.* 151 s.
- Koukol, O., Benova, B., Vosmanska, M., Frantik, T., Votaska, M. & Kovarova, M. 2008. Decomposition of spruce litter needles of different quality by *Setulipes androsaceus* and *Thysanophora penicillioides*. *Plant and Soil* 311: 151–159.
- Kujala, V. 1950. Über die Klienpilze der Koniferen in Finnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 38(4).
- Landis, T.D. 2000. Holistic nursery pest management: a new emphasis on seedling health. *Julkaisussa: Lilja, A. & Sutherland, J.R. (toim.). 2000. Proceedings of the 4th meeting of IUFRO working party 7.03.04 – Diseases and insects in forest nurseries. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 781. s. 5–15.
- Lilja, A. 1979. Koivun siemenen sienet ja niiden patogeenisuus. *Folia Forestalia* 408. 14 s.
- , Lilja, S., Poteri, M. & Ziren, L. 1992. Conifer seedling root fungi and root dieback in Finnish nurseries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7(4): 547–556.
- , Hallaksela, A.M. & Heinonen, R. 1995. Fungi colonizing Scots pine cone scales and seeds and their pathogenicity. *European Journal of Forest Pathology* 25: 38–46.
- , Poteri, M., Vuorinen, M., Kurkela, T. & Hantula, J.

2005. Cultural and PCR based identification of the two most common fungi from cankers on container-grown Norway spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 432–439.
- , Hantula, J., Rytönen, A., Müller, M., Parikka, P., Pouttu, A. & Kurkela, T. 2010a. Vieras- ja tulokaslajit tautien aiheuttajina metsäpuilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2010: 283–301.
- , Poteri, M., Petäistö, R.-L., Rikala, R., Kurkela, T. & Kasanen, R. 2010b. Fungal diseases in forest nurseries in Finland. *Silva Fennica* 44(3): 525–545.
- Metsätalastollinen vuosikirja*. 2010. SVT maa-, metsä- ja kalatalous. Metsäntutkimuslaitos. 472 s.
- Mitchell, L.A. & Sutherland, J.R. 1986. Detection of seed-borne *Sirococcus strobilinus* with monoclonal antibodies in an enzyme-linked immunosorbent assay. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 945–948.
- Mittal, R.K. 1983. Studies on the mycoflora and its control on the seeds of some forest trees. I. *Cedrus deodara*. *Canadian Journal of Botany* 61: 197–201.
- Mittal, R.K. & Wang, B.S.P. 1987. Fungi associated with seeds of eastern white pine and white spruce during cone processing and seed extraction. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1026–1034.
- Mittal, R.K., Anderson, R.L. & Mathur, S.B. 1990. Microorganisms associated with tree seeds: world check list 1990. Petawawa National Forestry Institute, Information Report PI-X-96E/F. . 57 s.
- Mundt, J. O. & Hinkle, N. F. 1976. Bacteria within ovules and seeds. *Applied and Environmental Microbiology* 32(5): 694–698.
- Munkvold, G.P. 2009. Seed pathology progress in academia and industry. *Annual Review of Phytopathology* 47: 285–311.
- Nygren, M. 2003. Metsäpuiden siemenopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 882. 2. painos. 138 s. + 6 liitesivua.
- Perez-Sierra, A., Landeras, E., Leon, M., Bergegal, M., Garcia-Jimenez, J. & Armengol, J. 2007. Characterization of *Fusarium circinatum* from *Pinus* spp. in northern Spain. *Mycological Research* 111: 832–839.
- Petäistö, R.-L. 2006. *Botrytis cinerea* and Norway spruce seedlings in cold storage. *Baltic Forestry* 12: 24–33.
- Portlock, F.T. 1996. A field guide to collecting cones of British Columbia conifers. Canadian forest service & British Columbia ministry of forest. 102 s.
- Procházková, Z. & Jancarek, V. 1991. Diseases in Czech-Slovak nurseries. Pacific forest centre Canada, Information Report BC-X-331: 37–50.
- Richardson, M.J. 1996. Seed mycology. *Mycological Research* 100: 358–392.
- Riffle, J.W. & Springfield, H.W. 1968. Hydrogen peroxide increases germination and reduces microflora on seed of several southwestern woody species. *Forest Science* 14: 96–101.
- Ryynänen, L. 1980. Männyn siementen varastointi ja vanheneminen. *Folia Forestalia* 42. 11 s.
- Schröder, T., Kehr, R. & Hüttermann, A. 2002. First report of the seed-pathogen *Geniculodendron pyriforme*, the imperfect state of the ascomycete *Caloscypha fulgens*, on imported conifer seeds in Germany. *Forest Pathology* 32: 225–230.
- Siitonen, J. 2008. Kuusikloonin vaikutus käpy- ja siementuholaisten esiintymiseen siemenviljelyksillä. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. 83 s.
- Sinclair, W.A., Lyon, H.H. & Johnson, W.T. 1987. Diseases of trees and shrubs. Cornell University Press, Ithaca, NY. 574 s.
- Storer, A.J., Gordon, T.R., Wood, D.L. & Bonello, P. 1997. Pitch canker disease of pines; current and future impacts. *Journal of Forestry* 95: 21–26.
- Suszka, B., Chmielarz, P. & Walkenhorst, R. 2005. How long can seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be stored? *Annals of Forest Science* 62(1): 73–78.
- Sutherland, J.R. 1979. The pathogenic fungus *Caloscypha fulgens* in stored conifer seeds in British Columbia and relation of incidence to ground and squirrel-cache collected cones. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 129–132.
- 1987. *Sirococcus* blight. Julkaisussa: Sutherland, J.R., Miller, T. & Quinard, R.S. (toim.). 1987. Cone and seed diseases of North American conifers. Victoria NAFC Publ. 1: 34–41.
- & Woods, T.A.D. 1978. The fungus *Geniculodendron pyriforme* in stored Sitka spruce seeds: effects of seed extraction and cone collection methods on disease incidence. *Phytopathology* 68: 747–750.
- , Lock, W. & Farris, S.H. 1981. *Sirococcus* blight: a seed-borne disease of container grown spruce seedlings in coastal British Columbia forest nurseries. *Canadian Journal of Botany* 59: 559–562.
- , Diekmann, M. & Berjak, P. 2002. Forest tree seed. IPGRI Technical Bulletin 6. 85 s.
- Talgo, V., Brodal, G., Klemsdal, S.S. & Stensvand, A.

2010. Seed borne fungi on *Abies* spp. *Seed Science and Technology* 38: 477–493.
- Thomsen, K. & Schmidt, L. 1999. Control of fungi during seed procurement. Danida forest seed centre, Technical Notes 53. 16 s.
- Tian Fu, W. & Uotila, A. 2002. Observation of *Sirococcus conigenus* and its pathogenicity. Julkaisussa: Uotila, A. & Ahola, V. (toim.). 2002. Proceedings of the IUFRO working party 7.02.02 Shoot and foliage diseases, Meeting at Hyytiälä, Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 829: 68–74.
- Tillman-Sutela, E., Kauppi, A. & Sahlén, K. 1998. Effect of disturbed photoperiod on the surface structures of ripening Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds. *Trees* 12: 499–506.
- , Kauppi, A., Hilli, A. & Kaitera, J. 2004. Fungal injury to seed tissue of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. *Trees* 18: 151–156.
- Timonin, M.I. 1964. Interaction of seed coat microflora and soil micro-organisms and its effects on pre- and post-emergence on some conifer seedlings. *Canadian Journal of Microbiology* 10: 17–32.
- Urošević, B. 1961. The influence of saprophytic and semi-parasitic fungi on the germination of Norway spruce and Scots pine seeds. *Proceedings of International Seed Testing Association* 26(3): 537–553.
- Wall, R.E. & Magasi, L.P. 1976. Environmental factors affecting *Sirococcus* shoot blight of black spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 6: 448–452.
- Whittle, A.M. 1977. Mycoflora of cones and seeds of *Pinus sylvestris*. *Transactions of British Mycological Society* 69(1): 47–57.

77 viitettä