

# Kuusentuomiruosteen isäntäkasvit, patogeenisuus ja infektiobiologia

*Kaitera Juha*

## Yhteispohjoismainen Tandem Forest Values projekti

Suomen ja Ruotsin yhteinen Tandem Forest Values projekti toteutettiin vuosina 2019-2020. Projektin toteuttivat Luonnonvarakeskus (Luke) Suomesta ja Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Ruotsista. Projektiin osallistuivat **Ke Zhang, Berit Samils** ja **Åke Olson** SLU:sta Department of Forest Ecology and Plant Pathology yksiköstä ja **Juha Kaitera** Luonnonvarakeskuksesta.

Projektin rahoitus kuului osana Ruotsin virallista lahjaa Suomen 100-vuotiselle itsenäisyydelle, jonka tarkoituksena oli vahvistaa ja kehittää tutkimusyhteistyötä kestäväällä pohjalla Suomen ja Ruotsin välillä metsätutkimuksen ja metsäteollisuuden saralla.

Tandem Forest Values oli bilateraalinen tutkimusohjelma, jossa rahoitettiin 12 kaksivuotista post-doc pestiä, joiden kokonaisarvo oli 24 miljoonaa Ruotsin kruunua. Projektin nimi oli 'Production of healthy Norway spruce seeds: host specificity, pathogenicity and infection biology of *T. areolata*' eli 'Terveen kuusen siemenen tuottaminen: kuusentuomiruosteen isäntäkasvispesifisyys, patogeenisuus ja infektiobiologia'.

## Tutkimuksen tarve

Tutkimuksen lähtökohtana oli pula korkeasti jalostetusta kuusen siemenestä, jota tuotetaan geneettisesti valituista puista siemenviljelmillä. Siemenpula johtuu etenkin kuusen epäsäännöllisestä kukinnasta, hyönteistuhhoista ja kuusentuomiruosteen aiheuttamasta sienitaudista.

Kuusentuomiruoste leviää tuomen välityksellä eri kuusilajeihin (*Picea*). Sieni on aiheuttanut laajaa tuhoa sekä siemenviljelmillä että luonnonmetsissä mm. siemenkeruumetsiköissä. Se leviää talvehtineista sairaista tuomen lehdistä alkukesällä kantaitiöiden avulla kuusen emikukkiin, joissa kehittyvät keski- ja loppukesällä sienien pikkukuroma- ja helmi-itiöpesäkkeet. Kävyistä helmi-itiöt tartuttavat nuoria tuomen lehtiä pääasiassa alkukesästä, joissa kehittyvät edelleen sienen kesä- talvi- ja kantaitiöitiöpesäkkeet. Vaikka sienen itiölevintä pääosin tunnetaan, useat sienen leviämiseen liittyvät kysymykset ovat kuitenkin vielä ratkaisematta.

Projektissa käsiteltiin siemenviljelmien hoitoon liittyviä kysymyksiä. Niitä olivat 1) kuusentuomiruosteen torjunta poistamalla tuomi ja mahdolliset

muut tautia levittävät kasvit siemenviljelmiltä ja 2) hyönteisten vaikutuksen selvittäminen sienen korkeaan geneettiseen vaihteluun tautiepidemioiden aikana.

Projektin tavoitteena oli tuottaa hoito-ohjeistus siemenviljelmille koskien kuusentuomiruosteen leviämistä väli-isäntäkasvien välityksellä ja mahdollisten leviämiseen vaikuttavien hyönteisten torjumiseksi ja siten tautiepidemioiden lieventämiseksi.

## **Kuusentuomiruosteen itiölevinnän seurantakoe**

Työn tarkoituksena oli selvittää kuinka kauas kuusentuomiruosteen kantaitiöt voivat levitä tuomien ympärille, milloin kuusen emikukkien tartunta tapahtuu ja kuinka paljon kantaitiota tarvitaan yhden käyn tartuntaan. Hypoteesina oli, että itiöt leviävät alle 50 m etäisyydelle tuomista, jolloin taudin torjunta voitaisiin kohdistaa tehokkaasti tuomiin siemenviljelmien sisällä.

Itiöseuranta suoritettiin Ultunassa, Ruotsissa, ja Joutsassa, kuusen siemenviljelmällä Suomessa vuonna 2020. Molemmille alueille asennettiin 21 itiökeräintä 0, 10, 50 ja 100 m etäisyydelle itiölähteenä toimivista tuomista (*P. padus*) kahteen linjaan pohjois- ja itäsuunnissa (Suomi) tai länsi-itäsuunnissa (Ruotsi). Kullakin etäisyydellä oli 3 keräintä vierekkäin n. 1 m toisistaan.

Itiökeräin koostui n. 1 m:n korkeudella metallitangon päässä olevasta ritilästä, jonka päälle asetettiin suodatinpaperi ja objektilasi, jonka pinnalla oli vaseliinia. Sekä suodatinpaperille että

objektilasille kerättiin sienin itiölaskeumaa, ja keräimet vaihdettiin viikon välein.

Itiöseurantaa tehtiin 20.4.-22.6. Ruotsissa ja 4.5.-29.6. Suomessa. Objektilasin vaseliini värjättiin väriaineella ja sen pinnalta laskettiin helmi- ja kesäitiöiden määrä systemaattisesti pinta-alayksikköä kohti. Suodatinpapereilta uutettiin DNA:ta, jonka perusteella määritettiin kuusentuomiruosteen DNA:n määrä ja edelleen kantaitiöiden määrä suodatinpaperilla vertaamalla DNA:n määrää eri itiölaajien määrään objektilaseilla. Myös kuusen siitepölyn määrä laskettiin objektilaseilta pinta-alayksikköä kohti (Zhang et al. 2022a).

Itiöseurannan perusteella helmi-itiöiden esiintymishuiput olivat 11.-25.5. ja 2.-8.6. Suomessa ja hieman aikaisemmin 4.-18.5. Ruotsissa. Esiintymishuippujen aikaan helmi-itiöitä esiintyi eniten itiökeräimissä, jotka sijaitsivat lähinnä siemenpuita Suomessa. Vastaavasti helmi-itiöiden määrä lisääntyi huippujen aikana länneistä itäsuuntaan Ruotsissa.

Helmi-itiöiden esiintymishuippujen aikaan alueilla esiintyi runsaasti sateita. Sekä Suomessa että Ruotsissa helmi-itiöiden määrässä oli vain pientä vaihtelua itiökeräimien välillä ajankohtina, jolloin itiölevintä oli alhainen.

Kesäitiöiden esiintymishuiput olivat 2-3 viikkoa helmi-itiöiden esiintymishuippujen jälkeen. Huiput olivat 23.-29.6. Suomessa ja hieman aikaisemmin 16.-22.6. Ruotsissa. Kesäitiöiden levintä tapahtui lähes yksinomaan alle 10 m itiölähteestä.

Kantaitiöiden 1-2 viikon esiinty-

mishuiput ilmenivät runsaiden sateiden yhteydessä. Kantaitiölevinnän esiintymishuipuksi arvioitiin 2.-8.6. Suomessa ja 28.4.-4.5. ja 12.-18.5. Ruotsissa. Kantaitiölevintä tapahtui samanaikaisesti kuusen siitepölyn leviämisen aikaan Suomessa, mutta siitepölyn levintää hie-man aikaisemmin Ruotsissa. Kantaitiölevinnällä ei havaittu siemenviljelmien sisällä minkäänlaista gradienttia suhteessa itiölähteisiin, tuomiin (Zhang et al. 2022a).

## **Seuranta- ja tartutuskokeet kuusentuomiruosteen leviämisestä väli-isäntäkasvien avulla**

Työn tarkoituksena oli selvittää, löytyykö muita väli-isäntäkasveja kuin tuomi esim. kanervakasveista (*Ericaceae*), joiden kautta sieni voisi levitä siemenviljelmillä aiheuttaen voimakkaan itiöpaineen kuusiin. Hypoteesina oli, että kuusentuomiruoste leviää vain tuomen välityksellä, eikä muiden kasvien poisto vähennä tautia siemenviljelmillä.

Tutkimuksessa selvitettiin kotimaisten ja ulkolaisten tuomilajien sekä eräiden luonnonkasvien alttiutta kuusentuomiruostetta vastaan kenttätutkimuksen avulla sekä tartutuskokein laboratoriossa ja kasvihuoneessa.

Elokuussa 2020 tutkittiin 41 puuta 25 tuomilajista (*Prunus* spp.) Upsalan kasvitieteellisessä puutarhassa. Kustakin puusta tarkastettiin 100 lehdeltä kuusentuomiruosteen kesäitiöpesäkkeiden esiintyminen luokituksella 'ei pesäkkeitä', 'vähän pesäkkeitä' ja runsaasti pesäkkeitä'. Lehdet tarkastettiin mikroskoopilla ja sieni varmistettiin pustullien DNA:sta kuusentuomiruosteeksi.

Eri kasvilajien ruostealttiuden selvittämiseksi tehtiin tartutuskokeita, joissa käytettiin 8 helmi-itiöalkuperää 3 siemenviljelmältä Suomesta ja 13 itiöalkuperää 3 siemenviljelmältä ja 3 metsiköstä Ruotsista.

Kokeissa helmi-itiöitä karistettiin 20 Upsalan kasvitieteellisen puutarhan tuomilajin tai provenienssin ja 2 Oulun kasvitieteellisen puutarhan tuomilajin ja 9 muun puuvartisen kasvilajin irtolehdeille petrimaljoilla vuosina 2019–20. Lisäksi tartutettiin 11 kasvilajin ja tuomen ruokkutaimien lehtiä kasvihuoneessa. Kyseiset lajit esiintyivät yleisinä ruotsalaisilla kuusen siemenviljelmillä. Kustakin lajista tartutettiin 15 kasvia vuonna 2019 (Zhang et al. 2021).

Tartutuskokeissa ei löydetty uusia kuusentuomiruosteelle alttiita kasveja tuomilajien lisäksi. Kahden viikon kuluttua tartutuksista kaikissa tartutetuissa tuomissa (*P. padus*) kehittyi runsaasti kesäitiöpesäkkeitä kasvihuonekokeissa. Irtolehtien tartutuksissa kaikilla tartutetuilla tuomen lehdillä kehittyi kesäitiöpesäkkeitä kaikilla kokeissa olleilla itiöalkuperillä 2 viikkoa tartutuksista. Myös erään japanintuomen (*P. grayana*) provenienssin irtolehdeillä kehittyi kesäitiöpesäkkeitä yhdellä suomalaisella itiöalkuperällä tartutettuna.

Maastotarkastuksessa Uppsalan kasvitieteellisessä puutarhassa Ruotsissa havaittiin uusi kuusentuomiruosteelle altis tuomilaji, japanintuomi. Laji on lievästi taudinaltis. Inventoinnissa kesäitiöpesäkkeitä esiintyi 45 % tuomen lehdistä ja 12 % japanintuomen erään provenienssin lehdistä (Zhang et al. 2021).



*Kuva 1. Pussitettuja kuusen emikukkia ennen kuusentuomiruosteen seksuaalista lisääntymistä. Kuva: Juha Kaitera.*

### **Kuusentuomiruosteen geneettinen diversiteetti vakavan ja lievän epidemian aikana ja sienen seksuaalisen lisääntymisen estämisen vaikutus geneettiseen diversiteettiin**

Työn tarkoitus oli selvittää kuusentuomiruostepopulaatioiden geneettinen diversiteetti vuosina, jolloin tautia esiintyy joko runsaasti tai hyvin vähän. Lisäksi haluttiin selvittää käpyjen suojauksen vaikutus sienen tartuntaan, itiöintiin ja geneettiseen diversiteettiin. Hypoteesina oli, että käpyjen suojaus heikentää sienen seksuaalista lisääntymistä kävyn sisällä ja kävystä toiseen pikkukuromien avulla.

Tutkimuksessa selvitettiin kuusentuomiruostepopulaatioiden geneettistä diversiteettiä siemenviljelmillä

voimakkaan ja lievän epidemian aikana vuosina 2015, 2019 ja 2020. Aineistona käytettiin 548 helmi-itiöpesäkettä, jotka oli kerätty 55 kävystä 2 siemenviljelmältä Ruotsissa ja 2 viljelmältä Suomessa.

Käpyjen suojauskokeessa 300–500 emikukkaa pussitettiin 2 siemenviljelmällä Suomessa ja 2 viljelmällä Suomessa keväällä ennen niiden hedelmöitystä (Kuva 1). Pussitetut kävyt kerättiin syyskuussa ja niiden kuusentuomiruosteisuus tarkastettiin laboratoriossa. Vajaakehittyneiden helmi-itiöpesäkkeiden morfologiaa tarkasteltiin mikroskooppilla. Yksittäisten helmi-itiöpussien (Kuva 2) itiöstä tehtiin genotyyppin diversiteetistä analyysi. Analyysiä varten kehitettiin SSR-markkereita, joilla kartoitettiin sienen polymorfismia (Zhang et al. 2022b).

Tulosten perusteella kuusen-



Kuva 2. Kuusentuomiruosteen helmi-itiöpesäkkeitä kuusen käpysuomuis-  
sa. Kuva: Juha Kaitera.

tuomiruostepopulaatioiden geneettinen diversiteetti oli korkea, kun taudin määrän siemenviljelmillä oli korkea. Vuosina 2019 ja 2020 alhaisen taudin määrän vallitessa myös sienipopulaatioiden geneettinen diversiteetti oli alhainen. Tällöin myös kävyissä dominoivat vain yksittäiset genotyypit.

Nuorimmalla, vasta perustetulla siemenviljelmällä Suomessa geneettinen diversiteetti oli erityisen alhainen. Käpyjen pussitus ennen niiden hedelmöitystä tuotti vain 7 käpyä, jossa kehittyi helmi-itiöpussien esiasteita tai itiöpesäkkeitä, joiden geneettinen diversiteetti oli merkittävästi normaalisti kehittyneiden käpyjen helmi-itiöpesäkkeiden diversiteettiä alhaisempi (Zhang et al. 2022b).

## Johtopäätökset ja suosituksia tulosten pohjalta

Tulosten perusteella sateet ja voimakas kosteus edesauttavat kantaitiöiden muodostusta ja levintää. Minkäänlaisia gradientteja ei havaittu kantaitiöiden määrässä suhteessa etäisyyteen tuomiin, minkä perusteella merkittävä määrä kantaitiöitä voi levitä yli 100 m tuomien ympärille (Zhang et al. 2022a).

Kantaitiöiden kaukolevintä voi johtua mm. itiöiden pienestä koosta ja keveydestä, jolloin ne voivat liikkua ilmavirtausten avulla pitempiä matkoja kuin raskaammat helmi- ja kesäitiöt. Myös helmi-itiöiden levintään kosteudella on vaikutusta ja itiöt voivat levitä ilmavirtausten avulla satoja metrejä.

Kesäitiöt sen sijaan levisivät ai-noastaan hyvin lähelle tuomia (<10 m) ja vain muutamia itiöitä levisi kauas (100 m) tuomista. Siten kesäitiölevintä keskittyi lähelle itiölähdettä.

Kantaitiöt ovat kuuseen leviävä itiömuoto ja tulosten perusteella itiötartunta onnistuu helposti siemenviljelmän sisällä tuomista kuusiin. Jos siemenviljelmien kuusien tartunta halutaan estää poistamalla tuomet siemenviljelmien läheisyydestä, tulisi suojaetäisyyden olla useita kilometrejä.

Jos emikukat halutaan suojata kantaitiötartunnalta, tulisi ne suojata ennen kantaitiöiden esiintymishuippuja, joihin vaikuttavat sadejaksot kesällä ja alkukesästä. Jos kemiallista torjunta haluttaisiin käyttää, se olisi parasta tehdä systeemisillä fungisideilla.

Väli-isäntäkasvitutkimuksissa tartutuskokeiden ja kenttätutkimusten perusteella kuusentuomiruosteelle alttiita laje-

ja ovat tuomi ja kiiltotuomi (*P. serotina*) alalajeineen ja hybrideineen, kun taas hietakirsikka (*P. depressa*), japanintuomi, oratuomi (*P. spinosa*) ja kääpiömanteli (*P. tenella*) ovat lievästi taudinalttiita (Zhang et al. 2021).

Kiiltotuomi on listattu erääksi voimakkaimmin vieraslajeista leviävistä putkilokasveista Ruotsissa. Siten kuusen siemenviljelmillä tulee kiinnittää Ruotsissa ja Suomessa huomiota kuusentuomiruosteen leviämiseen erityisesti tuomen ja kiiltotuomen sekä niiden hybridien välityksellä, joihin torjuntatoinimet tulisi kohdistaa. Torjuntaa ei tarvitse kohdistaa muihin kuin tuomilajeihin.

Käpyjen pussituskokeiden perusteella käpyjen hedelmöitys kävystä käpyyn leviävien pikkukuumien avulla on merkittävä sienien seksuaalisen lisääntymisen ja diversiteetin kannalta (Zhang et al. 2022b). Siten pikkukuumien tehokas leviäminen kävystä toiseen vektoreiden avulla lisää sienien geneettistä diversiteettiä. Sienen geneettinen diversiteetti kasvaa ajanjaksoina, jolloin tautia esiintyy runsaasti siemenviljelmillä.

*Kirjoittaja työskentelee erikoistutkijana Luonnonvarakeskuksessa.*

## Lisäkirjallisuutta

Zhang K, Olson Å, Samils B, Kaitera J (2021) Alternate host screening of *Thekopsora areolata* in Scandinavia: a new record on *Prunus grayana*. *Botany* 99: 589-600. <https://doi.org/10.1139/cjb-2021-0023>

Zhang K, Kaitera J, Samils B, Olson Å (2022a) Temporal and spatial dispersal of *Thekopsora areolata* basidiopores, aeciospores, and urediniospores. *Plant Pathol* 71 (3): 668-683. <https://doi.org/10.1111/ppa.13510>

Zhang K, Samils B, Kaitera J, Olson Å (2022b) Low disease incidence and cone bagging in *Picea abies* are associated with low genotypic diversity in *Thekopsora areolata*. *Plant Pathol* 71 (8): 1743-1756. <https://doi.org/10.1111/ppa.13602>