

Sari Timonen

## Mykorritsasienet ja muut hyödylliset mikrobit puiden juuristoissa

**M**etsämaassa juurista tihkuvat monenlaiset hiiliyhdisteet houkuttelevat maaperän mikrobeja luokseen. Niinpä puunjuurien läheisyydessä mikrobiitiheydet ovat huomattavasti korkeammat kuin ympäröivässä maassa (Linderman 1988). Puun juuristoissa elää monenlaisia sieniä ja bakteereita. Osa niistä on haitallisia kuten tauteja aiheuttavat käävät, kun taas osa mikrobeista elelee suotuisassa ympäristössä vaikuttamatta mitenkään puiden elämään. Lisäksi juuristoissa elää mikrobeja, jotka parantavat puiden selviytymistä luonnossa. Boreaalisten puiden auttajamikrobeista tärkeimpiä ovat mykorritsaa eli sienijuurta muodostavat sienet. Havupuut ovat erityisen riippuvaisia mykorritsasienistä eivätkä tule ilman niitä luonnossa toimeen.

Havumetsävyöhykkeen metsissä mykorritsasienten biomassassa onkin varsin suuri ja niiden vuosittaiseksi biomassan vaihtuvuudeksi on arvioitu 830 kg/ha/v (Finlay ja Söderström 1992). Mykorritsasienten näkyvimmat osat ovat niiden puiden juurien kanssa yhdessä muodostamat mykorritsat ja pääosin syksyllä näkyvät itiöemät. Yhdellä neliometrillä metsämaata on tyypillisesti  $1-5 \times 10^5$  miljoonaa mykorritsaa ja esimerkiksi mäntyjen lyhytjuurista yli 90 % on yleensä mykorritsallisia (Markkola 1996, Väre 1996). Pelkät mykorritsat eivät kuitenkaan paljoa puuta auta. Välttämätön osa tätä symbioosia on mykorritsaa muodostavien sienten ulkorihmasto, jota voi olla satoja metrejä grammassa kuivattua maata (Finlay ja Söderström 1992). Mykorritsasienten ulkorihmastot ovatkin tärkeitä bo-

reaalisen metsän humuskerroksen rakenteen muodostamisessa. Hienot sienirihmat lisäävät puiden ravinteidenottopinta-alan jopa tuhatkertaiseksi (Read 1991). Niiden avulla puut pääsevät käyttämään monia sellaisia ravinnelähteitä, jotka muutoin olisivat juuriston tavoittamattomissa. Sienirihmat pystyvät tunkeutumaan huomattavasti pienempiin huokosiin maaperässä kuin kasvinjuuret ja sienten entsyymit mahdollistavat esimerkiksi orgaanisten ravinnelähteiden käytön (Abuzinadah ym. 1986). Sienirihmastot myös varastoivat suuria määriä fosfaatteja ja muita ravinteita puihin helposti siirtyvässä muodossa, mikä on tärkeää vaihtelevissa ravinneloissa (Smith ja Read 1997). Mykorritsasienet parantavat huomattavasti puiden kuivuuden kestävyyttä, sillä sienirihmat sekä varastoivat vettä että toipuvat nopeasti kuivuudesta (Lamhamedi ym. 1992). Lisäksi mykorritsasienet suojaavat puiden juuria raskasmetalleilta ja monilta patogeeneilta (Colpaert ja VanAssche 1993, Lilja ym. 1993). Sienirihmastojen ja niiden toimintojen ylläpitämiseen kuluu tietenkin energiaa. Ektomykorritsasienten onkin arvioitu käyttävän 10–30 % puiden tuottamista hiilihydraateista (Finlay ja Söderström 1992). Tämä ei ole kuitenkaan boreaalisisissa olosuhteissa varsinaisesti kallista, sillä valoa ja hiilidioksidia riittää ja rajoittavana tekijänä kasvussa ovat pääasiassa typpi ja fosfori.

Euroopan havumetsävyöhykkeen metsissä on yli 500 eri lajista ektomykorritsasientä jo yleisimmillä metsäpuilla (Hallingbäck 1994). Yhden puun juu-

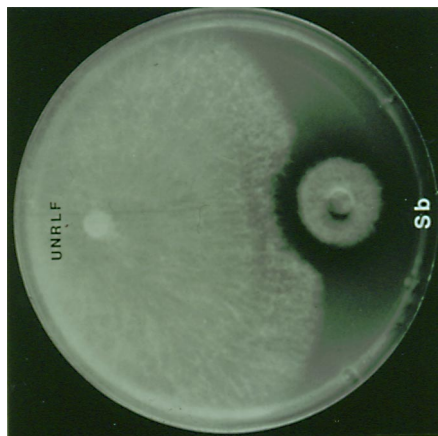


**Kuva 1.** Männyn taimi, jonka juuristossa on kahta erilaista sienijuurta eli mykorritsaa muodostavaa sientä. Mykorritsaa muodostavien sienten ulkorihmasto peittää koko kasvatuskennon pinnan. Kuva, Sari Timonen.

ristossa on havupuuvyöhykkeessä tyypillisesti 30–40 eri lajia, tosin männyn juuristoissa lajeja esiintyy hiukan runsaammin (Jonsson 1998). Puulle on eduksi moninainen sienipopulaatio juurissa, sillä eri sienillä on toisistaan poikkeavia ominaisuuksia; yksi sieni torjuu parhaiten patogeeneja, toinen kestää hyvin kuivuutta, kolmas on tehokas fosfaatinottaja ja neljäs taas syömäkeltvoton maaperäeläimille. Mykorritsasienten ulkorihmastot muodostavat metsän humuskerroksessa sienirihmastoverkoston, jonka yksi tärkeä tehtävä on yhdistää kasveja toisiinsa. Nuoret puuntaimet voivat elää pitkään käyttäen hyväksi suurien puiden ylläpitämää mykorritsasieniverkostoa ja jopa päätyä saamaan täysikasvuusil-



**Kuva 2.** Lyhytjuurista muodostuneita männyn yksi-, kaksi- ja nelihaaraisia sienijuuria. Kuva, Sari Timonen.



**Kuva 3.** Männyn mykorritsasieni nummitatti estää puhtasviljelmässä juurilahon kasvua. Sb – nummitatti, UNRLF – juurilaho. Kuva, Robin Sen.

ta naapureiltaan ravinneapua (Simard ym. 1997).

Juuristoissa puiden apuna toimivat myös monenlaiset bakteerit. Erilaisia kasvin kasvua parantavia bakteereita, kuten juurinystyräbakteereita, on osattu arvostaa jo pitkään. Lepän juurissa tyyppiä sitovia *Frankia*-juurinystyräbakteereita on löydetty myös suuria määriä koivujen juuristoista, vaikka ne eivät siellä muodostakaan symbionttisia juurinystyröitä (Smolander 1990). Koska puilla juurien aktiivinen osa on valtaosin sienirihmaston peitossa, ja suuri osa niiden yhteyttämistuotteesta menee sienirihmaston, monet bakteereista ovat erikoistuneet elämään myös sienirihmojen pinnalla ja väleissä. Yhteiselo voi olla enemmän tai vähemmän tiivistä

sietämisestä kiinteään symbioosiin. Kasvien mykorrhizatoista on mm. eristetty monenlaisia kasvin kasvua parantavia bakteereita ja mykorrhizan muodostumista helpottavia bakteereita (Garbaye 1994). Mykorrhizasientien auttajabakteerit tehostavat mykorrhizan muodostumista pehmentämällä kasvin soluseinää entsyymien avulla, tuottamalla sienelle mieluisia energianlähteitä kuten sitruunahappoa, hajottamalla sienten tuottamia toksineja, häittäamalla mykorrhizasienen kanssa kilpailevien sienten kasvua tai hävittämällä mykorrhizasienelle tai kasville haitallisia bakteereita (Garbaye 1994). Monet juuristobakteerit ovat myös myrkyllisiä maaperäeläimille ja siten suojaavat sienijuuria syödyksi tulemiselta. Sienijuuriston bakteerit voivat myös auttaa puita ravinteiden otossa sitomalla tyypeä, irrottamalla fosfaatteja ja kelatoimalla metalleja (Chanway ja Holl 1991, Leyval ja Berthelin 1986).

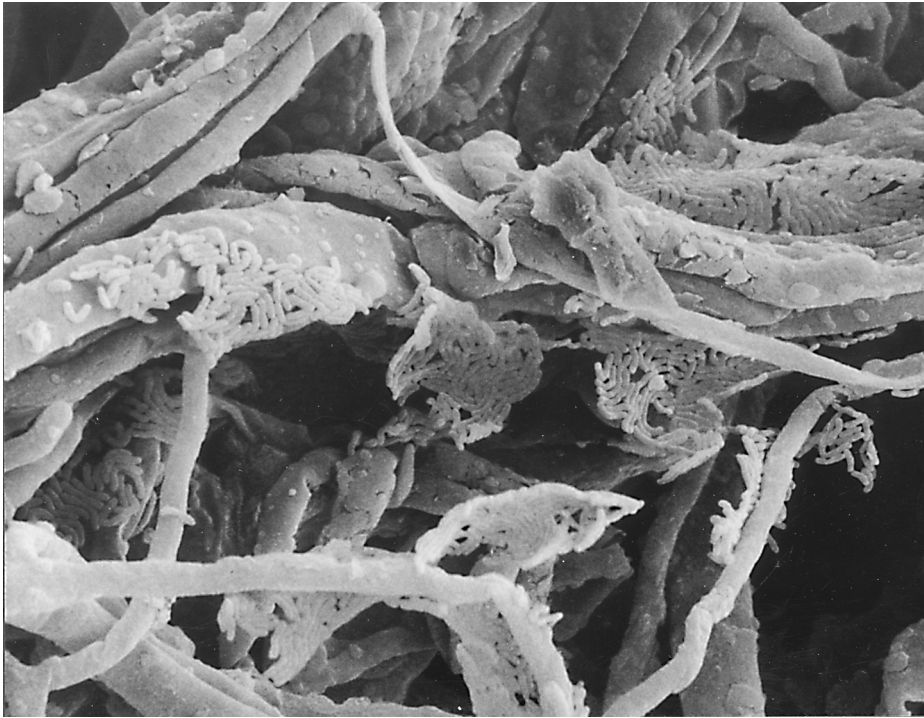
Metsänhoidossa voitaisiin juuristojen mikrobit huomioimalla nopeuttaa metsän uudistumista ja välttää ravinteiden huuhtoutumista. Mykorrhizasieniverkosto ulottuu useiden metrien päähän puun rungosta. Selvittämällä kuinka pitkälle mykorrhizasieniverkosto tärkeimmillä suomalaisilla metsäpuilla tyypillisesti ulottuu on mahdollista säätää hakkuukaisojen leveys sellaiseksi, että kaistat pysyisivät pääosin mykorrhizasieniverkoston kattamina. Näin voidaan välttää ravinteita varastoivan ja keräävän sieniverkoston tuhoutumista ja sitä seuraavaa ravinteiden huuhtoutumista ja uudet taimet pystyisivät kiinnittymään suoraan mykorrhizasieniverkostoon. Tämä helpottaisi uusien taimien selviytymistä hakkuuaukealla, kun niiden ei tarvitsisi käyttää ensimmäisiä elinvuosiaan oman verkostonsa kasvattamiseen. Mykorrhizasieniverkoston säilyttämisessä on myös tärkeää käyttää maapohjaa mahdollisimman vähän häiritseviä puunkorjuutapoja. Uuden sukupolven keinuvapyöräiset metsäkoneet liikkuvat metsässä lähes jälkiä jättämättä ja ne tulevat mahdollistamaan tulevaisuudessa puiden hellävaraisen korjuun tehokkuuden kuitenkin kärsimättä. (Pietilä 1997). Taimien istutuksessa maata täytyy jonkin verran muokata, jotta aluskasvillisuus ei heti tukahduttaisi pientä tainta, mutta on tärkeää ettei muokkausalue olisi niin laaja, etteivät sienirihmastot voisi nopeasti kasvaa taimen juuristoon. Mikäli halutaan restauroida avohakkuualueita tai metsittää peltoja olisi parasta käyttää valmiiksi mykorrhizasallisia taimia, sillä näil-

lä alueilla ei ole aktiivista mykorrhizasieniverkostoa taimien apuna.

Taimitarhakasvatuksissa voidaan hyödyntää sekä mykorrhizasieniä että auttajabakteereita. Valitsemalla sopivat mikrobiyhdistelmät voidaan taimien ravinteiden käyttöä huomattavasti tehostaa. Tämä vähentää ravinteiden huuhtoutumista taimitarhoilta ja mahdollistaa jopa siirtymisen vaikeasti hajoaviin pitkäaikaislannoitteisiin, joita vain mykorrhizasalliset kasvit voivat sienten tai bakteerien avulla käyttää. Myös tuholaismyrkkujen käyttöä voidaan vähentää, kun sienet ja bakteerit auttavat patogeenien ja juuristoherbivorien torjunnassa. Lisäksi sopivien mikrobilisäysten avulla voidaan nopeuttaa taimien kasvua, mikä lyhentää tarhakasvatukseen vaadittavaa aikaa ja auttaa kasvia kilpailemaan aluskasvillisuuden kanssa istutuksen jälkeen. Mykorrhizasalliset taimet selviytyvät myös yleensä paremmin istutushokista (Castellano ja Molina 1990).

Käytännön metsänhoidossa ja puidenkasvatuksessa mykorrhizasieniä ja niiden auttajabakteereita käytetään eniten Australiassa, Pohjois-Amerikassa ja Ranskassa. Australiassa mykorrhizasieniä on perinteisesti hyödynnetty kuivien ja myrkyllisten alueiden kuten avolouhosten restauroinnissa. Pohjois-Amerikassa useimmat taimitarhatuottajat pitävät mykorrhizasieniä tarpeellisina taimikasvatuksessa, vaikka käytännössä mykorrhizasallisia taimia tuotetaan vain murto-osassa taimitarhoista (Castellano ja Molina 1990). Myös hakkuissa, erityisesti eroosioherkillä etelärinteillä, on pyritty paikoin välttämään mykorrhizasieniverkoston tuhoutumista. Ranskassa on menty taimikasvatuksen tuotekehittämissä pisimmälle, ja siellä esimerkiksi douglaskuusen kasvutulos on voitu kaksinkertaistaa lisäämällä taimien juuriin sekä sopiva mykorrhizasieni että sen auttajabakteeri (Garbaye 1994). Jotkut taimitarhat ovat jopa erikoistuneet mykorrhizasallisten kasvien tuotantoon.

Suomessa metsänhoidossa mikrobisovelluksia hyödynnetään toistaiseksi hyvin vähän. Syynä tähän lienee metsänhoitoperinne ja pohjatiedon puute. Keskieurooppalaisia tai australialaisia sovelluksia ei voi suoraan ottaa käyttöön Suomessa, jossa puulajit ja olosuhteet ovat hyvin erilaiset. Tarvitaan siis vielä paljon kehitystyötä ennen kuin suomalaisessa metsänhoidossa päästään käyttämään samantyyppisiä sovelluksia kuten esimerkiksi Ranskassa. Joitakin perustietoja on toki jo saatavissa pohjois-



**Kuva 4.** Metsähumuksessa kasvatetun mykorritsaa muodostavan nummitatin ulkorihmaston bakteerikolonioita. Kuva, Eeva-Liisa Nurmiaho-Lassila.

maisen metsänhoidon optimointiin. Metsämittakaavassa on tehty lähinnä hakkuuvaikutustutkimuksia, joissa on käynyt ilmi, että avohakkuut ja metsänauraus vaikuttavat haitallisesti mykorritsasierien määrään ja lajirikkauteen (Väre 1989). Puiden juuristobakteereista tiedetään, että Keski-Euroopassa auttajabakteereina paljon käytetyt fluoresoivat pseudomonas-bakteerit ovat harvinaisia esimerkiksi männyn sienijuuristoissa kun taas *Bacillus*-suvun bakteerit ovat yleisiä (Timonen ym. 1998). Bakteerilajit ja määrät myös vaihtelevat suuresti erilaisilla mykorritsasierillä ja männyn sienijuuristojen eri osissa (Nurmiaho-Lassila ym. 1997). Juuristoista on jo eristetty erilaisia kasvitauteja torjuvia bakteerikantoja, mutta muutoin auttajabakteerien etsintä on vasta alussa. Vaikka edessä onkin vielä kova työ ennen kuin sopivat menetelmät on löydetty ja kunnolla testattu, juuristomikrobit tarjoavat monipuolisen välineistön erilaisiin tilanteisiin, ovathan puut kautta aikojen käyttäneet niitä selviytyäkseen hankalissa ja muuttuvissa olosuhteissa. Mikrobin hyö-

dyntäminen ja huomioonottaminen on looginen tie parantaa metsän tuottavuutta melko yksinkertaisin ja ympäristöystävällisin keinoin.

### Kirjallisuus

- Abuzinadah, R.A., Finlay, R.D. & Read, D.J. 1986. The role of proteins in the nitrogen nutrition of ectomycorrhizal plants. II. Utilization of protein by mycorrhizal plants of *Pinus contorta*. *New Phytologist* 103: 495–506.
- Castellano, M.A. & Molina, R. 1990. Mycorrhizae. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. & Barnett, J.P. (toim.). *Mycorrhizae*. US Department of Agriculture, Forest Service, Washington DC. s. 103–167.
- Chanway, C.P. & Holl, F.B. 1991. Biomass increase and associative nitrogen fixation of mycorrhizal *Pinus contorta* seedlings inoculated with a plant growth promoting *Bacillus* strain. *Canadian Journal of Botany* 69: 507–511.

- Colpaert, J.V. & VanAssche, J.A. 1993. The effects of cadmium on ectomycorrhizal *Pinus sylvestris* L. *New Phytologist* 123: 325–333.
- Finlay, R.D. & Söderström, B. 1992. Mycorrhiza and carbon flow to the soil. Teoksessa: Allen, M. (toim.). Mycorrhiza and carbon flow to the soil. Chapman & Hall, London. s. 134–160.
- Garbaye, J. 1994. Tansley Review No. 76: Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* 128: 197–210.
- Hallingbäck, T. 1994. The microfungi of Sweden. SNV Report 4313, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Jonsson, L. 1998. Community structure of ectomycorrhizal fungi in Swedish boreal forests. Väitöskirja. Swedish University of Agricultural Sciences. 28 s.
- Lamhamedi, M.S., Bernier, P.Y. & Fortin, J.A. 1992. Hydraulic conductance and soil water potential at the soil-root interface of *Pinus pinaster* seedlings inoculated with different dicaryons of *Pisolithus* spp. *Tree Physiology* 10: 231–144.
- Lilja, A., Hietala, A. & Sen, R. 1993. Havupuiden lahojuuri- ja koivun versolaikkutauti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 460: 5–12.
- Linderman, R.G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78: 366–371.
- Markkola, A.M. 1996. Resource allocation in ectomycorrhizal symbiosis in Scots pine affected by environmental changes. Väitöskirja. University of Oulu, Department of Biology. 43 s.
- Nurmiaho-Lassila, E.-L., Timonen, S., Haahtela, K. & Sen, R. 1997. Bacterial colonization patterns of intact Scots pine mycorrhizospheres in dry pine forest soil. *Canadian Journal of Microbiology* 43: 1017–1035.
- Pietilä, A. 1997. Uuden sukupolven metsäkone. *Metsänhoitaja* 6: 4–7.
- Read, D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47: 376–391.
- Simard, S.W., Perry, D.A., Jones, M.D., Myrold, D.D., Durall, D.M. & Molina, R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388: 579–582.
- Smith, S.E. & Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd edn. Academic Press, Cambridge. 605 s.
- Smolander, A. 1990. Frankia in forest soils. Väitöskirja. University of Helsinki, Department of General Microbiology. 33 s.
- Timonen, S., Jörgensen, K.S., Haahtela, K. & Sen, R. 1998. Bacterial community structure of Scots pine-*Suillus bovinus* and *-Paxillus involutus* mycorrhizospheres in dry pine forest soil and nursery peat. *Canadian Journal of Microbiology* Accepted.
- Väre, H. 1989. The mycorrhizal condition of weakened Scots pine saplings grown on ploughed sites in northern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 341–346.
- 1996. Relationships between spatial heterogeneity in vegetation communities and in below ground ecosystems. Väitöskirja. University of Oulu, Department of Biology. 37 s.

■ FT Sari Timonen toimii tutkijana Helsingin yliopiston biotieteiden laitoksen yleisen mikrobiologian osastolla.