

# FOLIA FORESTALIA 699

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

---

---

OLAVI LAIHO, TYTTI SARJALA  
RIITTA HYVÄRINEN & LEA RAUTIAINEN

---

LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNIKÖN  
MYKORITSOIHIN

---

EFFECT OF FERTILIZATION ON  
MYCORRHIZAE IN PINE STANDS

---



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

Ylijohtaja: Professori Aarne Nyysönen  
Director: Professor

Julkaisujen jakelu: Kirjastonhoitaja Liisa Ikävälko-Ahvonon  
Distribution of publications: Librarian

Julkaisujen toimitus: Toimittajat Seppo Oja  
Editorial office: Editors Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetointia varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkoikeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

# FOLIA FORESTALIA 699

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1987

Olavi Laiho, Tytti Sarjala, Riitta Hyvärinen & Lea Rautiainen

## LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNIKÖN MYKORITSOIHIN

Effect of fertilization on mycorrhizae in pine stands

*Approved on 9.10.1987*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	4
21. Metsiköt ja niiden lannoitus .....	4
22. Näytteenotto ja käsittely .....	4
23. Lyhytjuurten luokittelu .....	4
24. Lyhytjuurten sisärakenne .....	8
3. TULOKSET .....	9
31. Lyhytjuurten lukumäärä ja kuivapaino .....	9
32. Eri mykorrhisoiden määrä .....	11
33. Eri mykorrhisoiden rakenne .....	14
4. TULOSTEN TARKASTELU .....	17
5. YHTEENVETO .....	19
KIRJALLISUUS .....	20
SUMMARY .....	21

LAIHO, O., SARJALA, T., HYVÄRINEN, R. & RAUTIAINEN, L. 1987. Lannoituksen vaikutus männikön mykoritsoihin. Summary: Effect of fertilization on mycorrhizae in pine stands. *Folia Forestalia* 699. 22 p.

Tutkimuksessa tarkastellaan mykoritsojen määrää ja rakennetta humuksen pintakerroksessa kolmessa kivennäismaan männikössä (CIT, MCCIT, VMT; Pudasjärvi) neljä vuotta lannoituksen jälkeen. Lannoitemäärä oli käytännön metsätaloudessa käytetyllä tasolla (N 200 kg/ha, P 45 kg/ha, K 83 kg/ha). Lyhytjuurten määrä oli suuri, 48 kpl/cm<sup>3</sup>. Infektoitumattomia lyhytjuuria ei todettu. Ulkoisen rakenteensa perusteella kaikki lyhytjuuret kuuluivat johonkin kahdeksasta mykoritsoiluokasta. Lannoitus ei vaikuttanut eri luokkiin kuuluvien mykoritsojen määrään. Sisärakenteeltaan ne kuitenkin erosivat merkittävästi. NPK-käsittely heikensi mykoritsokehitystä ohentamalla vaippaa (17 µm vastaan 22 µm) ja mataloittamalla Hartigin verkkoa (57 µm vastaan 67 µm).

The study deals with the number and structure of mycorrhizae in the surface layer of the humus in three pine stands (*Cladonia* type, *Empetrum-Calluna-Cladonia* type, *Vaccinium-Myrtillus* type; North Finland) on mineral soil four years after fertilization. The fertilization levels corresponded to current practice in forestry (N 200 kg/ha, P 45 kg/ha, K 83 kg/ha). The number of short roots was high, 48 pcs/cm<sup>3</sup>. Nonmycorrhizal short roots were not detected. By their outer appearance all the tips were classified in some of eight categories of mycorrhizae. Fertilization did not have any effect on the number of these mycorrhizae. Significant differences, however, were found in their inner structure. NPK application weakened mycorrhizal development by making the mantle thinner (17 µm versus 22 µm) and the Hartig net less penetrating (57 µm versus 67 µm).

Keywords: Mycorrhiza, fertilization, site quality, *Pinus sylvestris*  
ODC 237.4 + 181.351

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, SF-39700 Parkano, Finland.

ISBN 951-40-0794-8  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

# 1. JOHDANTO

Metsäpuiden juuristojen tutkimus on meillä ollut verrattain runsasta. Myös hienojuuristoon on kiinnitetty huomiota ja todettu, että puiden ohuimmat juurenkärjet, ns. lyhytjuuret ovat metsässä lähes poikkeuksetta mykoritsarakenteisia (Heikurainen 1955, Mikola ja Laiho 1962). Myös taimitarhoissa mykoritsarakenne oli aikaisemmin täysin vallitseva (Mikola 1957, Laiho ja Mikola 1964, Mikola 1965).

1960-luvulla taimien kasvatus kuitenkin muuttui suuresti (muovihuoneet, kasvaturve, keinokastelu, runsas lannoitus, fungisidien ja herbisidien käyttö; ks. Rikala 1978) ja samalla havaittiin mykoritsainfektion sekä viivästyvän että heikkenevän (Laiho 1980, Sarjala ja Kupila-Ahvenniemi 1982). Tärkeimmältä syytä tähän muutokseen näyttää runsas lannoitus. Anttilan ja Lähteen (1977) taimitarhakokeissa 900 kg N/ha esti mykoritsanmuodostuksen kokonaan. Liuosviljelmässä (153 mg N/l, Slankis 1967) männyn valmiitkin mykoritsat jatkoivat kasvuaan ilman infektiota. Marxin ym. (1977) kokeissa mykoritsoja muodostui sitä vähemmän mitä enemmän typpeä ja fosforia käytettiin. Lannoituksen seurauksena juurten sakkaroositaso aleni ja mykoritsanmuodostuksen edellytykset heikkenivät.

Metsässä käytettävät lannoitemäärät ovat paljon pienemmät kuin taimitarhoilla ja ilmeisesti siksi metsänlannoituksen vaikutusta mykoritsanmuodostukseen on tutkittu vain niukasti. Enemmän tietoa on lannoituksen vaikutuksesta sienisatsoon. Lannoituksella on selvä vaikutus sekä satomäärään että etenkin lajien runsaussuhteisiin (ks. Ohenoja 1983). Voittopuolisesti lannoitus on lisännyt sienisatoa, joskus hyvinkin paljon. Monesti lisäys johtuu keskeisesti pulkkosienen, kangasrouskun ym. mykoritsasienien yleistymisestä.

Itiöemien esiintymisestä voidaan epäsuorasti tehdä päätelmiä myöskin mykoritsatilanteesta. Mitä enemmän itiöemiä, sitä enemmän sienirihmastolla on kosketuskohtia puiden juuriin, mykoritsoja (Laiho 1970). Puiden ravitsemuksen kuitenkin ollessa täysin mykoritsojen varassa ja itiöemien useimmilta mykorit-

sasieniltä puuttuessa on välttämätöntä selvittää lannoituksen vaikutusta lyhytjuuristoon ja mykoritsoihin myös suoranaisiin menetelmin. Niitä käyttäen onkin meillä äskettäin tutkittu kalkituksen vaikutusta mykoritsatasolla ja todettu se verrattain suureksi (Lehto 1984). Myös muualla on lannoituksen vaikutusta mykoritsoihin metsäolosuhteissa tutkittu (esim. Ritter ja Tölle 1978, Alexander ja Fairley 1983). Tämän tutkimuksen tehtäväksi asetettiin tavanomaisen kasvatuslannoituksen vaikutuksen selvittäminen mykoritsojen määrään, rakenteeseen ja sienilajistoon eräissä edustavissa metsäkoissa.

Tämä tutkimus kuuluu osana ns. LAVAME-projektiin (Lannoituksen vaikutus metsäekosysteemiin), jonka tarkoituksena on selvittää mahdollisimman monipuolisesti lannoituksen metsällisiä vaikutuksia. Projektissa ovat osallisina useimmat yliopistomme ja Metsäntutkimuslaitos tutkimusten suorittajina ja Kemira Oy, Metsähallitus ja useat metsäteollisuusyhtiöt koekenttien perustamistöiden rahoittajina.

Projektissa tutkitaan lannoituksen vaikutuksia puustoon, pintakasvillisuuteen, maan fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin, maaperäeläimiin ja mikrobitoimintaan, marja- ja sienisatoihin sekä riistaan, hyönteisiin ynnä metsätuhoihin. Myös mykoritsatutkimukset ovat osa tätä projektia.

Tutkimuksia varten on perustettu lannoituskoealoja seitsemälle paikkakunnalle eri puolille maatamme. Kaikilla niistä ei ole saatu käyntiin kaikkia edellä mainittuja tutkimuksia. Niinpä mykoritsatutkimuksia on tehty vain Pudasjärvellä ja Tammelassa. Tässä yhteydessä raportoidaan Pudasjärven koaloilta saadut tulokset. Työ jakaantuu tekijöiden kesken siten, että silloinen LuK Lea Rautiainen suoritti lyhytjuurten erottelun, laskennan sekä luokittelun ja silloinen LuK Riitta Hyvärinen valmisti mikroskooppileikkeet ja suoritti niistä mittaukset. Työ tehtiin Oulun Yliopiston kasvitieteen laitoksella ja sitä ohjasi Tytti Sarjala, joka Olavi Laihon kanssa otti osaa myös työn suunnitteluun. Alustavan käsikirjoituksen laati Olavi Laiho ja sen viimeistely tapahtui yhteistyönä Sarjalan kanssa.

FL Esteri Ohenoja avusti juuristonäytteiden otossa paikantamalla sienisadon seurantaikaistat. Konekirjoitustyön suorittivat toimistosihiteerit Tuire Kilponen ja Tiina Luoto. Englanninkielisen tiivistelmän on kääntänyt FK Leena Kaunisto. Käsikirjoituksen ovat lukeet professori Erkki Lähde ja MML Jukka Valtanen. Esitämme kaikille mainituille ja muille työn edistymiseen vaikuttaneille parhaat kiitoksemme.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 21. Metsiköt ja niiden lannoitus

Tutkittavaksi puulajiksi valittiin mänty. Sitä onkin mykorrhizasatutkimuksissa käytetty eniten testikasvina johtuen sekä sen yleisyydestä, tärkeydestä, lyhytjuurten helpposta tunnistettavuudesta sekä infektion moninaisuudesta. Tutkimuksen kaikki kolme koekenttää sijaitsivat Pudasjärvellä. Alue on mereisen ja mantereisen ilmaston vaihteluvyöhykeltä. Kasvimaantieteellisesti se kuuluu alavilta osiltaan Pohjanmaa-Kainuuseen ylävän osan ollessa Perä-Pohjolaa (Kalela 1961). Tutkimusmetsiköiksi valittiin karukkokangas, kuiva kangas ja tuore kangas. Niiden tunnuksot olivat seuraavat:

*Rytinkijärvi.* Jäkälätyypin (CIT) puhdas männikkö. Ikä 75 vuotta, runkoluku 680 kpl/ha, keskipituus 11 m, pohjapinta-ala 10 m<sup>2</sup>/ha ja puuston määrä 60 m<sup>3</sup>/ha. Korkeus merenpinnasta 190 m. Maa kivetöntä lajittunutta hiekkaa ja tasainen. Humuskerros erittäin ohut (1,6 cm), kasvillisuus porojen ylläiduntamana niukka, pensaskerros puuttui kokonaan.

*Ruovaara.* Keskimäärää paremman peräpohjalaisen kuivan kankaan (MCCIT) puhdas männikkö. Ikä 95 vuotta, runkoluku 810 kpl/ha, keskipituus 12 m, pohjapinta-ala 13 m<sup>2</sup>/ha ja puuston määrä 85 m<sup>3</sup>/ha. Korkeus merenpinnasta 185 m. Maa vähäkivistä hiekkamoreenia, osin karkeaa hiekkaa, humuskerros 4,1 cm.

*Romusella.* Puolukka-mustikkatyypin (VTM) puhdas männikkö. Ikä 75 vuotta, runkoluku 860 kpl/ha, keskipituus 16 m, pohjapinta-ala 18 m<sup>2</sup>/ha ja puuston määrä 140 m<sup>3</sup>/ha. Korkeus merenpinnasta 120 m. Maa vähäkivistä hiekkamoreenia, humuskerros 7,3 cm.

Kuhunkin metsikköön oli LAVAME-projektia käynnistettäessä rajattu 12 koeruutua. Ruutukoko oli 40 × 40 m ja ruutujen välillä 5 metrin vaippa. Ruudut olivat kahtena lohkona. Lannoituskäsittelyt olivat kaikissa metsiköissä seuraavat:

1. Lannoittamaton
2. Urea
3. Oulunsalpietari
4. Nitroform
5. NPK (Urea, Siilinjärven apatiitti, Siilinjärven biotiitti)
6. NPK + hivenseos (B 1,1 %, Cu 12,8 %, Mn 5,5 %, Fe 9,8 %, Zn 5,5 %, Mo 1,4 %, Na 0,7 %)

Nitroform on virtsa-aineesta ja formaliinista valmistettu ureaa hidaskaikuttisempi tyypilannoite. Se ei liukene veteen. Myös Siilinjärven apatiitti ja biotiitti ovat hyvin hidaskaikuttisempia. Hivenseoksena käytettiin Kemiran valmistettua.

Lannoitemäärät olivat nykykäytännön suuruisia tai hieman runsaampia. Tyyppiä annettiin 200 kg/ha, kalia ja fosforia 100 kg/ha oksidina ja hivenseosta 100 kg/ha. Urea levitettiin tammikuussa 1979 ja muut saman vuoden toukokuun puolivälissä.

Koekenttiä koskevan tarkemman kuvauksen suhteen viitataan projektin asianomaisiin tutkimuksiin.

### 22. Näytteenotto ja käsittely

Juuristonnäytteet otettiin 17.5.1983. Lannoituksella oli näin ollen ollut aikaa vaikuttaa neljä kasvukautta. Näytteenottohetkellä itidemien typpipitoisuus oli jo selvästi ohittanut lannoitusta seuranneen maksiminsa (Oh-tonen 1983) ja juuristo ehtinyt reagoida lannoitukseen.

Mykorrhizasatutkimusten työläyden vuoksi aineisto yrittiin keräämään siitä osasta maaprofilia, jossa lannoituksen vaikutus on suurin. Tällainen kohta ilmeisesti on humuskerroksen pinta. Lisäksi lyhytjuuritiheys on siinä suuri, nuorien mykorrhizojen osuus korkein ja sienilajisto runsas (Mikola ja Laiho 1962, Mikola ym. 1966).

Näytteet otettiin 3,0 cm läpimittaisella teräväreunaisella metalliputkella poistamalla ensin näytekohdasta pintakasvillisuus ja karikkeet. Näyteprofiili asetettiin humuskerroksen luontaista tiivyyttä tavoitellen muotiin, jossa siitä leikattiin terävällä veitsellä 1 cm paksuinen pintakerros lopulliseksi näytteeksi.

Kultakin koeruudulta otettiin 5 näytettä. Näytepisteet sijaitsivat 12,5 m ruutujen reunasta olevalla linjalla tasavälein. Linjojen viereisillä kaistoilla on seurattu lannoituksen jälkeistä sienestämistä (Ohenoja 1983).

Näytteet käärittiin paperiin ja pantiin muovipussiin, jonne kuivumisen estämiseksi lisättiin hieman vettä. Yhteensä näytteitä otettiin 180 kpl ja ne saatiin muuttaman tunnin kulussa pakastukseen.

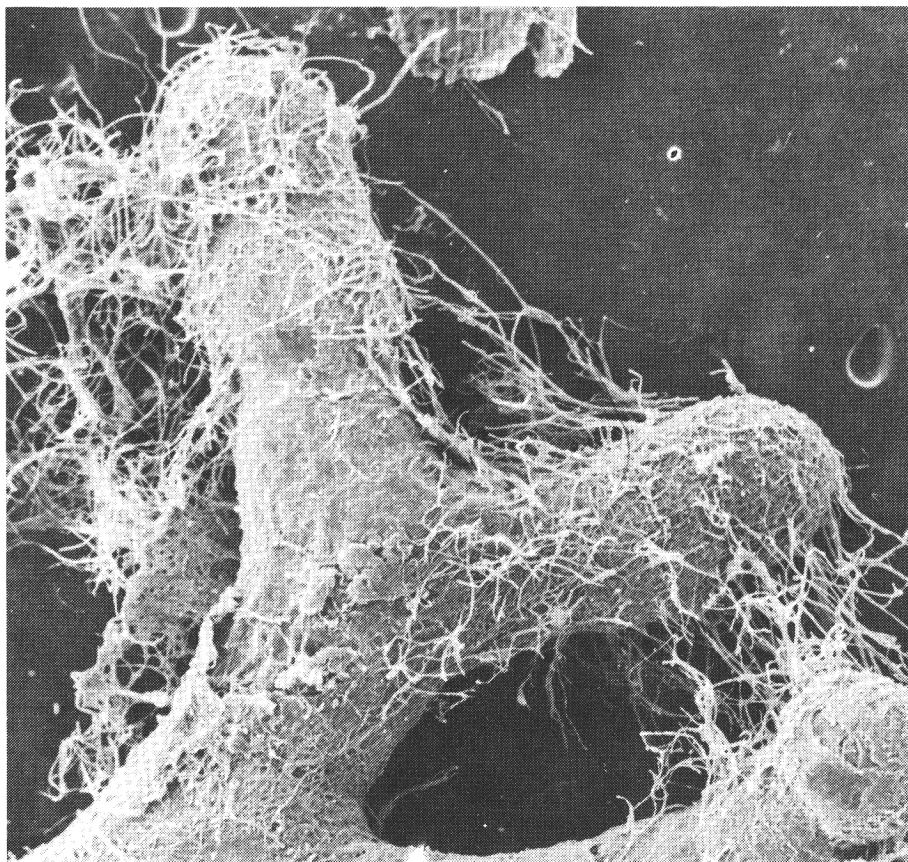
Juuret poimittiin näytteistä laboratoriotyönä. Näyte sulatettiin ja hajoitettiin varovasti vedessä lautasella pinsettejä apuna käyttäen. Sen jälkeen poimittiin juuret erilleen pinseteillä ja tarvittaessa näytettä seullalla huuhdellen. Epävarmoissa tapauksissa juurten tunnistamisessa käytettiin apuna mikroskooppia suurennuksin 6—16.

Näyteputki katkoi pitkäjuuret 1—3 cm pituisiksi palasiksi. Ne ynnä niihin kiinnittyneet lyhytjuuret pyrittiin saamaan erotelluiksi mahdollisimman ehjinä. Elävät lyhytjuuret eivät helpolla katkeakaan. Kuolleet sen sijaan ovat hauraita ja katkeavat vähäisestäkin kosketuksesta. Katkeilleet lyhytjuuret poimittiin mukaan vain milloin ne arvioitiin eläviksi. Pitkäjuuriin kiinnijääneet lyhytjuuret tulkittiin kaikki eläviksi.

### 23. Lyhytjuurten luokittelu

Lyhytjuurten määrälliseksi tunnukseksi laskettiin kustakin näytteestä erillisten kärkien lukumäärä. Niiden suuren määrän vuoksi laskenta ja luokittelu tehtiin tarvittaessa osanäyteistä. Lisäksi määritettiin juurten kuivapaino. Sitä ennen poistettiin 2 mm paksummat pitkäjuuret. Mykorrhizoihin kiinnittyneitä humusta ei saatu aivan kaikkea poistetuksi. Juuriin jääneen kivennäis-maan toteamiseksi määritettiin hehkutuskevennys.

Lyhytjuurten luokittelu on ongelmallista. Tarkkaan mekaaninen luokittelu, jossa käytetään väriä, väipan rakennetta, hyyfien ominaisuuksia ym. tunnuksia (esim. Dominik 1959) ei johda toiminnallisesti yhtenä-



Kuva 1. Gabelmykoritsa, jossa kaksi peräkkäistä dikotomista haarautumista. Samalla se on hyvä mykoritsa, jota vaippa kaikkialla peittää. Vaipasta lähtee ympäristöön hyyfejä. Suur.  $\times 160$ .

*Figure 1. Repeatedly branched good dichotomic mycorrhiza, entirely covered by a mantle. Mantle connected to the environment with hyphae. Magnif.  $\times 160$ .*

siin ryhmiin. Tämä tavoite edellyttää luokittelua mykoritsan muodostavan sienilajin mukaan (Trappe 1967). Eri sienilajien muodostamia mykoritsoja onkin kuvattu verrattain runsaasti sekä puhdasviljelmiä käyttäen (esim. Pachlewski ja Pachlewska 1974) että suoraan luonnosta (esim. Zak 1973, Hintikka 1974). Siltikin määrä on vain vähäinen osa mykoritsasienien suuresta joukosta (Trappe 1962).

Erityisenä vaikeutena mykoritsojen tunnistamisessa sienilajin mukaan on selvien tuntomerkkien niukkuus. Tunnistaminen edellyttäisi pitkälle erikoistunutta henkilöuntaa ja runsaasti aikaa. Näistä syistä joudutaan useimmiten tyytymään vain selvimmin erottuviin sienilajeihin.

Tarkasti ottaen pitäisi lajilleen tunnistetutkin mykoritsat luokitella edelleen. Niinpä nuorina mykoritsat ovat vaaleita, täyteläisiä ja sileitä. Vanhetessaan ne tummenevat, ohenevat, rypistyvät ja korkkiutuvat. Lisävaihtelua aiheuttaa myös se, että samakin sienilaji voi muodostaa hyvin kehittyneitä ja huonosti kehittyneitä mykoritsoja riippuen mm. lyhytjuurten elinvoimasta (Wilcox 1968) ja erityisesti kasvuolosuhteista.

Kaiken edellisen huomioonottaminen edellyttäisi ly-

hytjuurten fysiologisten ominaisuuksien mittaamista. Tämän ollessa käytännössä mahdotonta joudutaan luokittelussa tyytymään hyvin karkeisiin puitteisiin. Niin tehtiin myös tässä tutkimuksessa. Ensimmäiseksi otettiin erilleen sienilajilleen tunnistettavissa olevat mykoritsat. Muut lyhytjuuret eli valtaosa luokitettiin rakenteellisten tuntomerkkien perusteella ja niiden "hyvyyttä" arvioiden. Luokittelu myötäilee aikaisempia tutkimuksia (Melin 1927, Mäkelä ja Laiho 1962, Lehto 1984) ja oli seuraava:

*Gabelmycoritsa.* Männylle ominainen dikotomisesti haarautunut lyhytjuuri (kuva 1). Haarautuminen voi tapahtua lyhyin välein toistuvasti. Laboratoriossa dikotominen haarautuminen saadaan aikaan mykoritsasienien erittämällä kasvuhormoneilla (Slankis 1963). Metsässä ko. haarautumista esiintyy vain poikkeustapauksissa ilman mykoritsainfektiota (Mäkelä 1965). Mykoritsasienistä sitä aiheuttavat useimmat, ehkä kaikkikin. Gabelmykoritsat voivat olla samalla mitä tahansa seuraavia mykoritsoja, useimmiten kuitenkin hyviä tai keskinkertaisia sileitä. Lyhytjuurten lukumäärään kaikki kärjet luettiin erikseen.

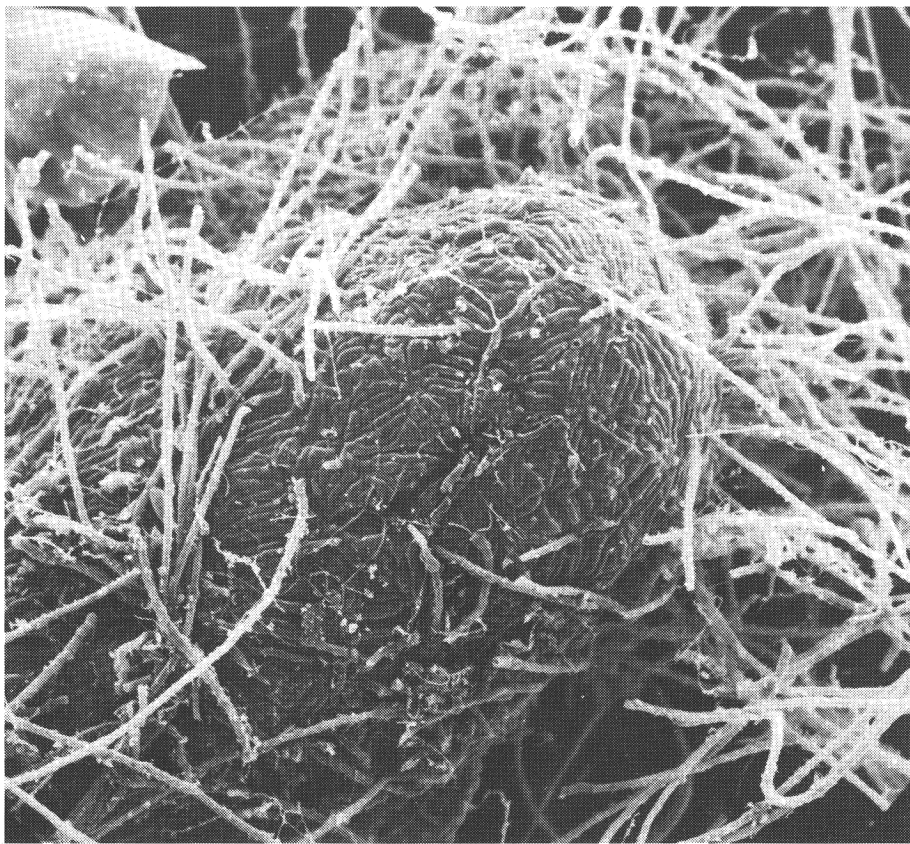


Figure 2. Tip of DN mycorrhiza. The surface pattern is clearly visible. Plenty of stiff *Cenococcum* hyyfejä runsaasti. Suur.  $\times 460$ .

Figure 2. Tip of DN mycorrhiza. The surface pattern is clearly visible. Plenty of stiff *Cenococcum* hyphae. Magnif.  $\times 460$ .

*C-mykoritsa*. Tummanruskea, paksun vaipan peittämä pallomainen mykoritsa, jonka läpimitta voi olla yli 3 mm. Muodostunut juurenkärjen haarautuessa dikotomisesti jopa kymmeniksi erittäin lyhyiksi ja yhteisen vaipan verhoamiksi haaroiksi. Nuoret haaraantumisen alussa olevat kehitysasteet tunnistettiin vaipan avulla. Tämä mykoritsa on tattien muodostama.

*DA-mykoritsa*. Minkä tahansa sienilajin muodostama mykoritsa, jonka pinnalle on kasvanut *Mycelium radialis atrovirens* — sienen muodostama tumma sekundäärinen vaippa (Melin 1927). Tähän luokkaan vietiin kaikki tummat mykoritsat, joissa ei ollut DN-mykoritsan tunnusmerkkejä.

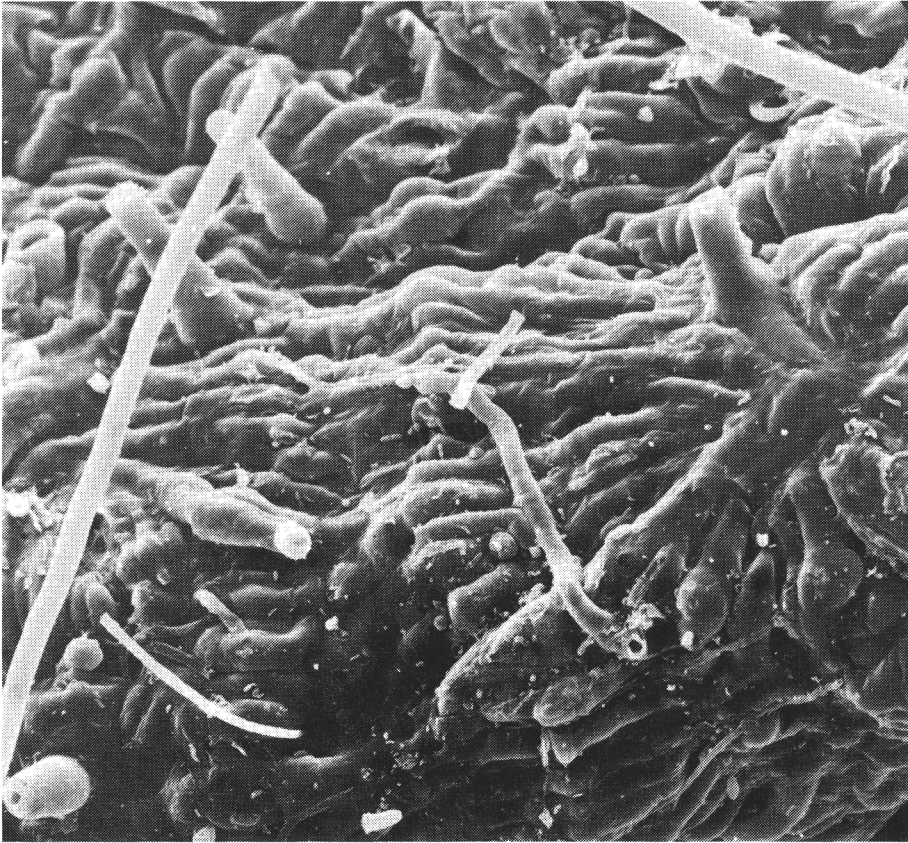
*DN-mykoritsa*. *Cenococcum graniforme* -sienen muodostama hiilenmusta mykoritsa (Mikola 1948). Vaippa paksu, ja pseudoparenkymaattisen tiivis. Sen pinnalla on hyyfien säteittäissuuntautuneisuudesta johutuva tyypillinen kuvioitus. Vaipasta lähtee tankeita hyyfejä ympäristöön, useimmiten runsaasti (kuvat 2 ja 3). DN-mykoritsa on tyypillinen kangashumuksen laji ja

painottuu esiintymisessään humuksen pintaosaan (Mikola ja Laiho 1962). Monesti, etenkin infektiotasapainon häiriinnyttyä vain osa lyhytjuurta, esim. kärki, on *Cenococcumin* infektoima. Muualla on tällöin toisia mykoritsasieniä. Nämä vajaatkin yksilöt luokitettiin samaan DN-luokkaan.

*K-mykoritsa*. *Corticium bicolor* -sienen muodostama kirkkaankeltainen mykoritsa (Mikola 1961). Huomiotaherättävän värinsä ja samantapaisten lajien puuttumisen vuoksi kaikkein helpoin tunnistaa. Näkyy hyvin paljaalla silmällä (kuvat 4 ja 5). Edellisen lailla erittäin yleinen kangashumuksessa, joka monesti on tämän mykoritsan ja sen ritsomorfiin ynnä hyyfikimppujen keltaiseksi kirjava. Tyypillistä on, että *Corticium*-rihmasto ei peitä koko lyhytjuurta vaan mukana on muitakin lajeja. Kaikki lyhytjuuret, joissa oli *Corticium*-rihmastoa luokitettiin K-mykoritsiksi.

*R-mykoritsa*. Muodostaa edellisen tavoin ritsomorfeja ja rihmastokimppuja, yleensä runsaasti. Monia värejä (valkea, harmaa, sinertävä, punertava, kellertävä) eri





Kuva 3. DN-mykoritsan vaippaa, joka on paksu ja pseudoparenkymaattisen tiivis. Vierekkäiset hyyfit säteittäin samansuuntaisia. Ulospäinsuuntautuneet hyyfit valmistuksessa katkenneet. Suur.  $\times 1670$ .

Figure 3. Thick and pseudoparenchymatically tight mantle of DN mycorrhiza. The adjacent hyphae radially parallel. The outgrowing hyphae have broken during the preparation of the sample. Magnif.  $\times 1670$ .

vivahtein osoittaen muodostavien sienilajien runsautta (kuva 6). Tyypillisiä R-mykoritsoja tapaa etenkin monien seitikkien itiöemien ympäriltä, joka viittaa niiden olevan tärkeitä R-mykoritsan muodostajia (vert. Hintikka 1974).

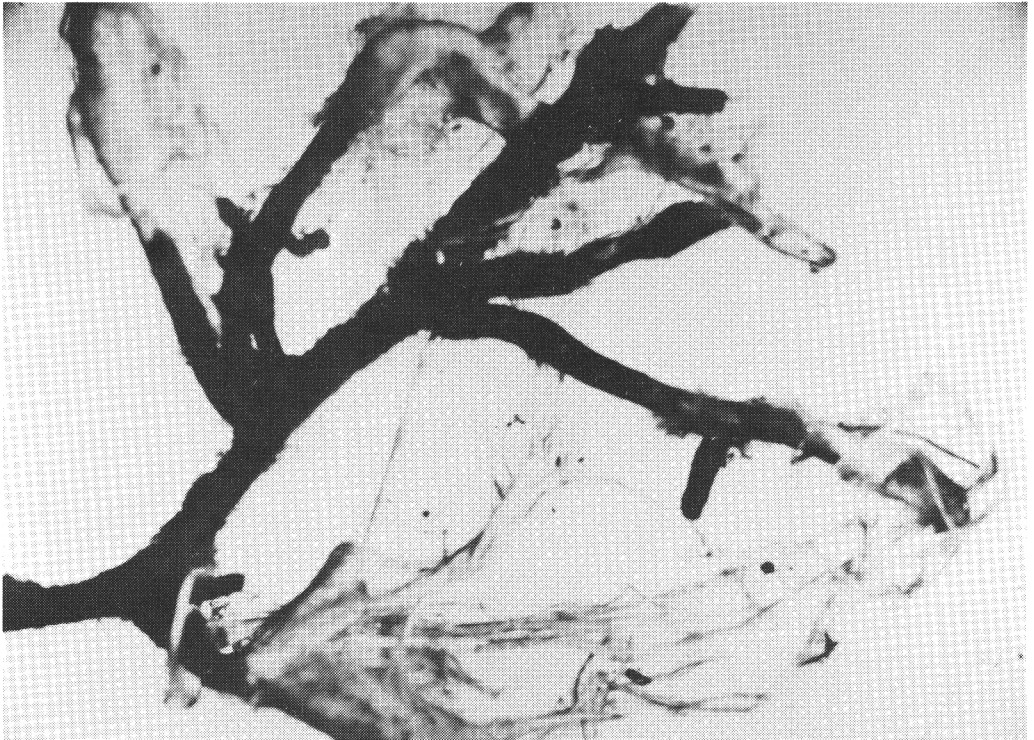
*Hyvät mykoritsat.* Nämä kuten seuraavatkin ovat nimeltään tuntemattomien monilukuisten sienilajien muodostamia mykoritsoja. Ne ovat kookkaita, vaipan pintarakenteeltaan yleensä sileitä, nuorilta ja hyvin muodostuneilta vaikuttavia (kuvat 1 ja 7). Ritsomorfeja ja hyyfikimppuja ei esiinny, mutta yksittäisiä hyyfejä voi kasvaa vaipasta ympäröivään maahan.

*Keskinkertaiset mykoritsat.* Edellisen ryhmän kaltaisia, mutta ohuempia ja silmävaraisesti arvioiden huommin kehittyneitä.

*Huonot ja pseudomykoritsat.* Edellisen ryhmän kaltaisia mutta edelleen ohuempia ja heikommin kehittyneitä (kuva 4). Pseudomykoritsat ovat lyhytjuuria, joissa on

yksipuolisesti parasiittinen lievä solunsisäinen infektiio (Melin 1927). Huonoissa mykoritsoissa on aito mutta niukka infektiio. Raja hyvien, keskinkertaisten ja huonojen välillä on liukuva ja viimeainittuihin vietiin kaikki edellisiin sopimattomat lyhytjuuret ilman tarkempaa erittelemistä.

Luokittelun yhteydessä mykoritsoista määritettiin myös hyyfyisyys. Se tarkoittaa kimpuiksi ja ritsomorfeiksi ryhmittymättömien erillisten vaipasta lähtevien hyyfien runsautta hyvillä ja keskinkertaisilla mykoritsoilla. Tunnus määritettiin näytekohteisesti suhteellisen arvioiden (0 = puuttuu tai niukka; 1 = kohtalainen; 2 = runsas; 3 = erittäin runsas). Hyyfien niukkuus merkitsee vähäistä kosketuspintaa maahiukkasten kanssa ja vastaavasti niiden runsaus lisää mahdollisuuksia ravinteiden ottoon. Karuimmilla kasvupaikoilla hyyfyisyys on niukkaa (Mikola 1963).



Kuva 4. K-mykoritsoja ritsomorfeineen ja hyyfikimppuineen. Helposti tunnistettava kirkaankeltainen *Corticium*-rihmasto näkyy vaaleana. Infektio tyypillisesti vain osassa lyhytjuuria. Tummat lyhytjuuret ovat huono- ja mykoritsoja. Suur.  $\times 8$ .

Figure 4. *K mycorrhizae* with their rhizomorphs and hyphal strands. The easily recognizable, bright yellow *Corticium* mycelium looks light-coloured. Typically only part of short roots are infected by *Corticium*. The dark short roots belong to poor mycorrhizae. Magnif.  $\times 8$ .

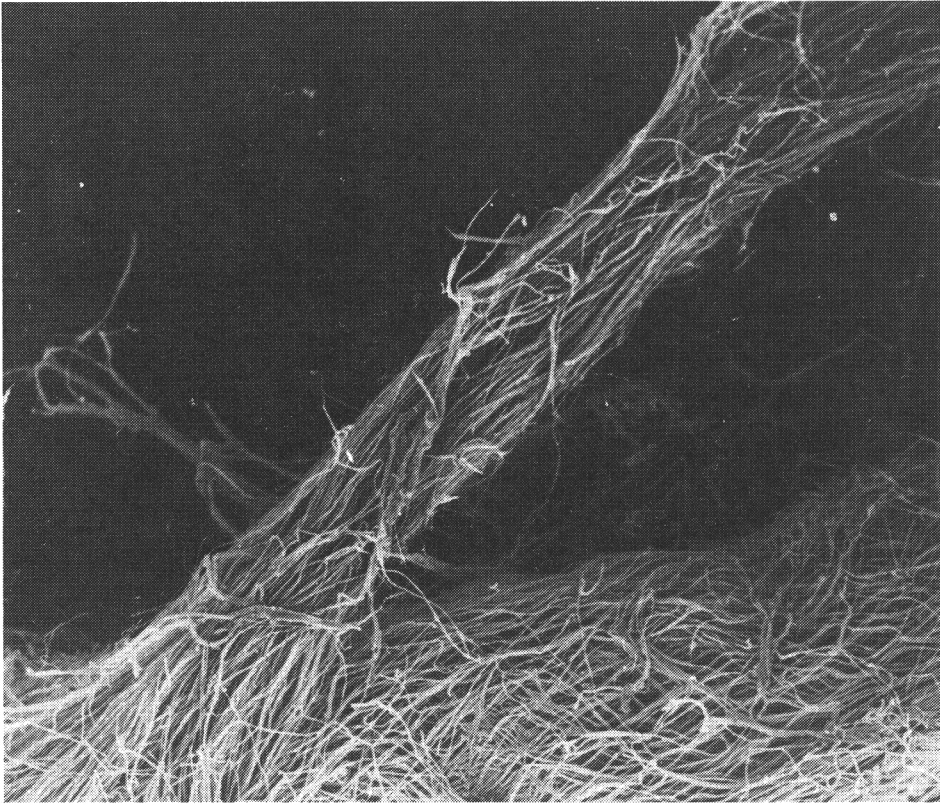
## 24. Lyhytjuurten sisärakenne

Luokittelun yhteydessä otettiin eri ryhmistä edustavia lyhytjuuria sisärakenteen selvittämistä varten. Ne säilöttiin FAA-liuokseen ja tehtiin mikroskooppileikkeiksi paraffiinimenetelmällä ja Safranin Fast green -värjäystä (Hohtola 1982) tai Pianese-värjäystä (Wilcox ja Marsh 1964) käyttäen. Leikkeet tarkastettiin mikroskooppilla suurennuksin 20–400 ja niistä mitattiin juuren läpimitta, keskuslieriön läpimitta, vaipan paksuus ja Hartigin verkon syvyys. Lisäksi määritettiin kuorikerroksen kunto. Mittaukset tehtiin lyhytjuuren parhaiten kehittyneestä kohdasta yleensä pitkittäisleikkauksesta. Leikkeitä ei niiden vaatiman suuren työmäärän vuoksi voitu tehdä näytekohteisesti vaan yhdistämällä toistoruudut ja osanäytteet. Yhteensä mittauskelpoisia leike-

lyhytjuuria saatiin 444 kpl.

FAA:han fikseeratuista juurista otettiin edustavat näytteet myös pyyhkäisy- eli scanningelektronimikroskopiaa varten. Näytteet dehydroitiin alkoholisarjassa, kuivattiin critical point -menetelmällä, päällystettiin kultapalladiumilla ja tutkittiin JEOL-JSM 35 pyyhkäisyelektronimikroskooppilla 15 kV jännitteellä Oulun yliopiston elektronioptiikan laitoksella.

Lyhytjuurten määrää ja mittasuhteita testattiin varianssianalyysillä ja yleisyyksiä nelikenttätestillä. Tilastollisilla eroilla tarkoitetaan oheisten riskitasojen alitumista: 10 % ( $p = 0,100$ ) = ero suuntaa-antava, ; 5 % ( $p = 0,050$ ) = jokseenkin merkitsevä, ; 1 % ( $p = 0,010$ ) = merkitsevä, ; 0,1 % ( $p = 0,001$ ) = erittäin merkitsevä).



Kuva 5. K-mykoritsan pinta ja siitä erkaneva ritsomorfi. Vaipan pinta ilmava. Suur.  $\times 210$ .  
 Figure 5. *K mycorrhiza and an outgrowing rhizomorph. The surface mantle is loose in structure. Magnif.  $\times 210$ .*

### 3. TULOKSET

#### 31. Lyhytjuurten lukumäärä ja kuivapaino

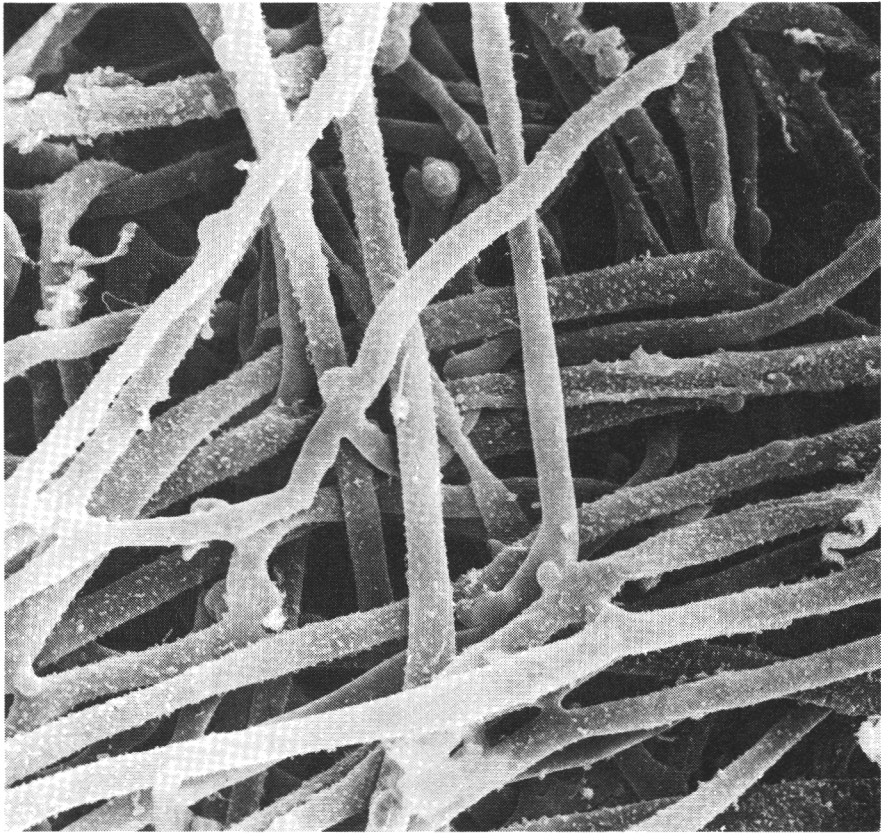
Humuskerroksen pintaosalle on ominaista erityisen suuri lyhytjuuritiheyden vaihtelu. Syynä on yksistään jo se, että humuskerroksen ja pintakasvillisuuden raja ei ole terävä. Myös humuskerroksen tiiviys vaihtelee pinnalla ilmeisesti eniten. Lyhytjuuritiheyden vaihtelu käy havainnollisesti esille kuvasta 8. Keskimäärin joka viidestoista näyte oli vailla männyn juuria. Yleisimmin lyhytjuuria oli 26—50 kpl/cm<sup>3</sup>, enimmillään jopa yli 250 kpl/cm<sup>3</sup>. Näytteissä, joissa juurenkärkiä oli poikkeuksellisen paljon, lyhytjuuret olivat keskenään hyvin samanlaisia viitaten tietyn tai tiettyjen sienilajien juurten haaroittumista edistävään vaikutukseen (*Hydnum* spp. ym.).

Keskimääräinen lyhytjuuritiheys oli 48 kpl/cm<sup>3</sup> (taulukko 3). Kasvupaikoittain

kiinnittää huomiota karuimman eli jäkälätyypin suurin lyhytjuuritiheys. Kasvupaikoittaiset erot olivat tilastollisestikin lähes suuntaa antavat. Lannoituskäsittelyn vaikutusta lyhytjuurten lukumäärässä ei näy, joskin on huomattava, että vähäisiä muutoksia ei tämän aineiston puitteissa ole mahdollista saada selville.

Juuriston kuivapaino oli 4,75 mg humuksen cm<sup>3</sup>:ä kohti (taulukko 1). Lyhytjuurten ohella tässä on mukana myös niiden emojuurit. Lukumäärän tavoin myös kuivapaino oli karuimman kasvupaikan näytteissä muita suurempi. Samaten kuivapaino oli lannoittamattomilla ruuduilla kaikkia lannoituskäsittelyjä suurempi.

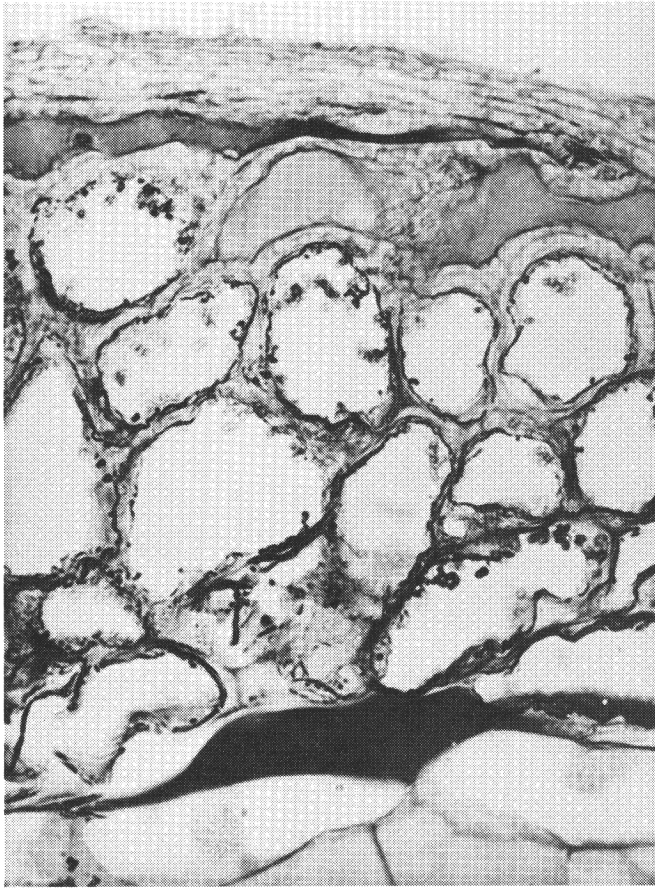
Tuhkan osuus kuivapainosta vaihteli kasvupaikoittain välillä 1,2—6,4 % ja sekini oli jäkälätyypin männikössä suurin. Kasvupaik-



Kuva 6. R-mykoritsan pintaa. Vaippa ilmava. Sienirihmoissa näkyy sinkilöitä. Suur.  $\times 2400$ .  
 Figure 6. Surface of *R. mycorrhiza*. A loose mantle. Clamp connections in fungal hyphae. Magnif.  $\times 2400$ .

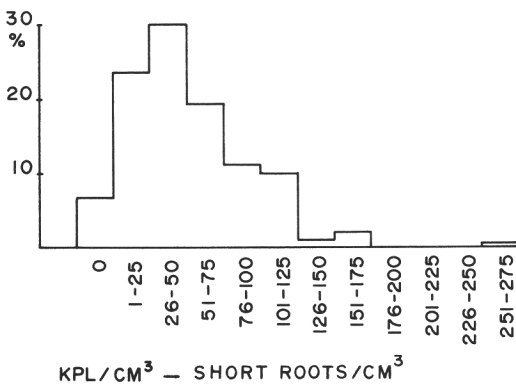
Taulukko 1. Lyhytjuurten kuivapaino ja tuhkaprosentti kasvupaikoittain ja käsittelyittäin.  
 Table 1. Dry weight and ash percentage of short roots in different sites and treatments.

Kasvu- paikka Site	Lannoit- tamaton Unfertilized	Urea	Nitro- form	Oulun salpie- tari Calcium ammonium nitrate	NPK	NPK + hivenet tracers	Keskim. Mean	Merkitsevyys Significance <sup>P</sup>	Lannoitus Fertilization
Kuivapaino mg/cm <sup>3</sup> — Dry weight									
CIT	4,78	6,36	4,46	6,35	5,08	4,59	5,27		
MCCIT	4,68	3,30	5,39	6,48	5,37	3,27	4,75		
VMT	6,00	3,64	5,38	2,43	2,67	5,24	4,23		
Keskim. Mean	5,15	4,43	5,08	5,09	4,37	4,37	4,75	0,191	0,763
Tuhkaprosentti — Ash percentage									
CIT	4,3	9,8	5,3	3,2	7,5	8,3	6,4		
MCCIT	1,4	1,4	0,7	1,2	1,2	1,5	1,2		
VMT	4,4	2,5	2,8	3,3	2,4	3,6	3,2		
Keskim. Mean	3,4	4,6	2,9	2,6	3,7	4,5	3,6	0,000	0,655



Kuva 7. Hyvän sileän mykoritsan pitkittäisleikkausta. Vaippa tiivisrakenteinen, paksuus 0,011 mm. Hartigin verkon syvyys 0,069 mm ja 79 % juurenkuoren paksuudesta. Suur  $\times$  794.

Figure 7. Longitudinal section of a good smooth mycorrhiza. The 0.011-mm-thick mantle is tight. The depth of the Hartig net is 0.069 mm and 79 % the thickness of the cortex. Magnif.  $\times$  794.



Kuva 8. Lyhytjuurten tiheysjakauma humuksen pintakerroksessa. Näytteiden lukumäärä 180.

Figure 8. Density of short roots in the surface layer of the humus. The number of samples 180.

kojen välinen ero oli erittäin merkitsevä. Jä-kälätyypin humuskerros oli ohut (1,6 cm), porojen tallaama ja kuopima. Näin siinä oli paljon muita kasvupaikkoja enemmän mineraalimaata, joka ei juurista kokonaan irronnut. Tuoreen kankaan lyhytjuurien tuhkapitoisuutta lisäsi mykoritsojen hyyfisyys. Tuhkapitoisuuserotkin elimoinoiden juurten kuivapaino oli karukkokankaalla ja lannoittamattomilla koeruuduilla korkein.

### 32. Eri mykoritsojen määrä

*Gabelmykoritsat.* Näitä männylle luonteenomaisia mykoritsainfektion tunnusmerkeiksi tiedettyjä dikotomisesti haarautuneita lyhytjuurten

Taulukko 2. Eri mykoritsojen yleisyys (positiivisten näytteiden lukumäärä) metsätyypeittäin ja lannoituskäsittelyittäin.

Table 2. Frequency (number of positive samples) of different mycorrhizae in various forest site types and fertilization treatments.

Mykoritsa <i>Mycorrhizal type</i>	CIT	MCCIT Site	VMT	Lannoit- tamaton <i>Unfertilized</i>	Urea	Nitro- form	Oulun- salpie- tari <i>Calcium ammonium nitrate</i>	NPK	NPK + hivenet <i>tracers</i>	Yhteensä <i>Total</i>
C	11	8	12	7	7	1	6	3	7	31
DN	1	28	47	10	13	15	10	14	14	76
DA	5	3	26	7	7	4	4	5	7	34
K	0	18	5	4	2	4	6	3	4	23
R	14	23	28	13	12	11	11	5	13	65
Hyvät <i>Good</i>	8	22	19	12	10	9	7	6	5	49
Keskinkertaiset <i>Medium</i>	53	57	52	29	29	28	24	26	26	162
Huonot ja pseudot <i>Poor and pseudo</i>	49	57	58	29	30	29	23	27	26	164
Kaikki lyhyt- juuret <i>All short roots</i>	53	57	58	29	30	29	25	28	27	168
Gabel <i>Dichotomic tips</i>	50	57	58	29	30	29	23	27	26	164
Näytteitä kpl <i>No. of samples</i>	60	60	60	30	30	30	30	30	30	180

kärkiä oli tasaisesti kaikissa näytteissä (taulukot 2 ja 3) lukuunottamatta muutamaa, joissa oli vain jokunen juurenkärki. Keskimäärin gabelmykoritsoja oli 12 kpl/cm<sup>3</sup> eli neljännes kaikista kärjistä. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut, mutta karuimmalla kasvupaikalla gabelkärkien esiintyminen oli niukinta.

*C-mykoritsa.* Tätä tattilajien muodostamaa mykoritsaa esiintyi niukasti, vain vajaassa viidenneksessä näytteitä. Niissäkin sitä oli lukumääräisesti vähän, keskimäärin vain 0,3 % lyhytjuurten lukumäärästä. C-mykoritsojen merkitystä lisää kuitenkin muihin nähden moninkertainen koko, yhdessä yksilössä voi olla kymmeniäkin kärkiä. Hajonta oli huomiotaherättävän suuri. Se on yleensä ominaista yhden sienilajin tai -suvun muodostamille mykoritsoille johtuen monien lajien klooneittaisesta esiintymisestä. Tilastollisia eroja ei ollut, mutta lannoittamattomilla koeruu-  
duilla C-mykoritsaa oli lannoitettuihin verrattuna kolminkertainen määrä.

*DN-mykoritsa.* Tämä hiilenmusta, tankein hyyfein ympäristöönsä yhteydessä oleva mykoritsa, joka maailmanlaajuisesti on ehkä yleisin ja levinnein (Trappe 1964) oli tässäkin aineistossa yleinen. Sitä tavattiin vajaassa puolessa näytteitä ja

keskimäärin 8 % lyhytjuurten lukumäärästä. Lajille on ominaista niukka esiintyminen lähes kaikkialla ja lisääntyminen vallitsevaksi lajiksi olosuhteiden parantuessa. Jäkälätyypillä sitä esiintyi yhdessä näytteessä ja siinäkin vähän. VMT:llä sitä oli useimmissa näytteissä ja keskimäärin 18 %. Tämä kasvupaikkojen ero toistui ilman poikkeuksia lannoituskäsittelystä toiseen ja oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Myös lannoituksella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus DN-mykoritsan esiintymiseen. Johdonmukainen se ei kuitenkaan ollut urean vähentäessä ja nitroformin ynnä Oulunsalpietarin lisäessä DN-mykoritsaa.

*DA-mykoritsa.* Tähän luokkaan vietyä tummaa hyffitöntä mykoritsaa esiintyi keskimäärin joka viidennessä näytteessä. Yleisimmin sitä oli viljavimmalla kasvupaikalla. Lukumäärä oli vähäinen, 0,8 %, ja hajonta suuri. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut.

*K-mykoritsa.* Tämä kirkkaankeltaisen värinsä vuoksi helposti ja varmasti tunnistettava mykoritsa tunnetaan tyypillisenä kangashumuksen lajina ja sen mukaisesti se esiintyi tässäkin aineistossa. Ohuthumuksisella jäkälätyypillä sitä ei ollut lainkaan, MCCIT:llä vajaat 5 %, VMT:llä 0,5 % ja keskimäärin 1,5 %. Sama suhde oli näh-

Taulukko 3. Eri mykoritsojen esiintyminen (kpl/cm<sup>3</sup>) kasvupaikoittain ja lannoituskäsittelyittäin.  
 Table 3. Occurrence of different mycorrhizae (no./cm<sup>3</sup>) in various forest site types and fertilization treatments.

Mykoritsä <i>Mycorrhizal type</i>	Kasvu- paikka <i>Site</i>	Lannoit- tamaton <i>Unfertilized</i>	Urea	Nitro- form	Oulun salpie- tari <i>Calcium ammonium nitrate</i>	NPK	NPK + hivenet <i>tracers</i>	Keskim. <i>Mean</i>	%	Merkitsevyys <i>Significance</i>	p	Kasvu- paikka <i>Site</i>	Lannoit- tus <i>Fertili- zation</i>
C	CIT	0,48	0,01	0,00	0,35	0,13	0,23	0,20	0,36				
	MCCIT	0,32	0,14	0,06	0,01	0,00	0,04	0,10	0,23				
	VMT	0,14	0,20	0,00	0,21	0,03	0,13	0,12	0,25				
	Keskim. <i>Mean</i>	0,32	0,12	0,02	0,19	0,05	0,13	0,14	0,29	0,555		0,372	
DN	CIT	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02				
	MCCIT	3,10	1,58	4,41	4,23	2,18	2,45	2,99	7,17				
	VMT	4,65	2,24	22,56	8,24	4,82	8,56	8,51	18,27				
	Keskim. <i>Mean</i>	2,58	1,27	9,01	4,16	2,33	3,67	3,84	8,00	0,000		0,004	
DA	CIT	0,28	0,00	0,00	0,03	0,14	0,14	0,10	0,18				
	MCCIT	2,68	0,00	0,85	0,00	0,17	0,00	0,62	1,47				
	VMT	0,35	0,49	0,72	0,20	0,24	0,32	0,39	0,83				
	Keskim. <i>Mean</i>	1,10	0,16	0,52	0,08	0,18	0,16	0,37	0,77	0,434		0,433	
K	CIT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
	MCCIT	1,75	0,93	0,80	4,38	2,96	0,93	1,96	4,69				
	VMT	0,28	0,00	0,10	0,56	0,08	0,42	0,24	0,52				
	Keskim. <i>Mean</i>	0,68	0,31	0,30	1,65	1,01	0,45	0,73	1,53	0,001		0,339	
R	CIT	4,80	8,06	0,00	5,14	3,52	0,28	3,63	6,55				
	MCCIT	2,44	0,30	0,34	0,07	0,07	2,48	0,95	2,27				
	VMT	1,69	1,56	1,32	5,41	1,55	5,04	2,76	5,93				
	Keskim. <i>Mean</i>	2,98	3,31	0,55	3,54	1,71	2,60	2,45	5,11	0,162		0,643	
Hyvät <i>Good</i>	CIT	0,18	0,06	0,39	0,21	0,14	0,00	0,16	0,30				
	MCCIT	0,08	0,44	0,61	0,51	1,01	0,44	0,51	1,23				
	VMT	0,48	0,32	0,28	0,41	0,35	0,38	0,37	0,80				
	Keskim. <i>Mean</i>	0,25	0,27	0,43	0,38	0,50	0,27	0,35	0,73	0,137		0,859	
Keskin- kertaiset <i>Medium</i>	CIT	21,69	25,77	23,87	27,42	24,41	14,31	22,91	41,32				
	MCCIT	9,59	10,70	17,31	19,24	13,24	9,51	13,27	31,80				
	VMT	21,99	16,90	6,96	7,75	9,23	18,69	13,58	29,16				
	Keskim. <i>Mean</i>	17,76	17,79	16,05	18,15	15,62	14,17	16,59	34,62	0,002		0,868	
Huonot ja pseudot <i>Poor and pseudo</i>	CIT	21,09	29,06	21,52	34,86	23,97	40,11	28,43	51,27				
	MCCIT	19,48	13,87	21,11	38,85	21,93	13,73	21,34	51,13				
	VMT	28,69	16,40	28,41	6,32	20,70	23,11	20,60	44,23				
	Keskim. <i>Mean</i>	23,09	19,78	23,68	26,68	22,20	25,65	23,46	48,95	0,113		0,786	
Yht. <i>Total</i>	CIT	48,52	62,96	45,85	68,01	52,31	55,07	55,45	100				
	MCCIT	39,44	27,96	45,49	67,32	40,56	29,58	41,73	100				
	VMT	58,27	38,11	60,35	29,10	37,00	56,65	46,58	100				
	Keskim. <i>Mean</i>	48,74	43,01	50,56	54,81	43,29	47,10	47,92	100	0,106		0,749	
Gabel <i>Dichotomic tips</i>	CIT	10,08	16,45	11,77	14,42	12,82	10,48	12,67	22,85				
	MCCIT	9,38	6,39	12,68	15,72	9,43	7,55	10,19	24,42				
	VMT	13,75	13,07	12,96	10,39	10,39	19,13	13,28	28,51				
	Keskim. <i>Mean</i>	11,07	11,98	12,47	13,51	10,88	12,39	12,05	25,14	0,251		0,926	

tävissä kaikkien lannoituskäsittelyjen osalta, ja kasvupaikkojen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Lannoituksella ei ollut havaittavaa vaikutusta K-mykoritsan esiintymiseen.

*R-mykoritsa.* Tätä luokkaa esiintyi runsaassa kolmanneksessa näytteitä. Tyypillisesti kloonitain esiintyvien lajien muodostamana ryhmälle oli ominaista suuri hajonta. Harvinaisin R-mykoritsa oli jäkälättyypillä, mutta esiintymien yksilörunsauden takia sitä oli lähes 7 % eli keskimäärää, 5,1 %, enemmän. Kasvupaikan ja lannoituksen vaikutus ei ollut selvä, johdonmukainen eikä tilastollisesti merkitsevä.

*Hyvät sileät mykoritsat.* Tämän luokan mykoritsoja tavattiin, ainakin osittain luokituksessa noudatetun poikkeuksellisen tiukan linjan vuoksi, vähän. Niitä esiintyi vajaan kolmanneksessa näytteitä, keskimäärin 0,7 % lyhytjuurten lukumäärästä. Jäkälättyypillä hyviä mykoritsoja oli vähiten (0,3 %). Kasvupaikoittaiset erot olivat lannoitusvaikutusta suuremmat, mutta tilastollista merkitsevyyttä ei eroilla ollut.

*Keskinkertaiset sileät mykoritsat.* Keskinkertaisia mykoritsoja oli lähes kaikissa näytteissä ja niiden kokonaismäärä nousi korkeaksi, 35 % lyhytjuurten lukumäärästä. Näin luokka oli selvästi toiseksi suurin. Jäkälättyypillä niitä oli eniten ja väheneminen kasvupaikan parantuessa myös tilastollisesti merkitsevä. Lannoituskäsittelyittäin arvot vaihtelivat suhteellisen vähän ja tällöinkin epäjohdonmukaisesti.

*Huonot ja pseudomykoritsat.* Tämä luokka oli kaikkein yleisin. Sen edustajia oli yhtä lukuunottamatta kaikissa juurellisissa näytteissä ja keskimäärin lähes puolet (49 %) lyhytjuurten lukumäärästä. Luokkaan tuli silminnähden hyvin erilaisia lyhytjuuria. Ensinnäkin nuoria ohuita lyhytjuuria, joissa ei ollut selvää vaippaa. Toiseksi vanhoja kookkaita lyhytjuuria, jossa aktiivista osaa oli vain hieman kärjessä. Lisäksi tähän luokkaan vietiin epätäydellisiä kärjestään katkeileita lyhytjuuria. Vähiten näitä lyhytjuuria oli parhaalla kasvupaikalla mutta aivan tilastollisesti suuntaa-antavakaan kasvupaikkojen välinen ero ei ollut.

Tiivistäen lyhytjuuristolle oli ominaista johdonmukaiset ja verrattain selvät kasvupaikoittaiset erot lannoitusvaikutuksen jäädessä vähäiseksi. Tihein humuksen pinnan lyhytjuuristo oli karulla ohuthumuksisella jäkälättyypillä. Samalla se oli lajistollisesti yksipuolisin ja rakenteeltaan heikoin. DA-, DN-, K- ja hyviä mykoritsoja sillä oli kasvupaikoista vähiten ja toisaalta keskinkertaisia ja huonoja mykoritsoja eniten. Lannoitus-

vaikutus oli selvin DN-mykoritsan osalta.

Vastaavanlaisen tuloksen antoi hyvien ja keskinkertaisten mykoritsojen hyyfisyystarkastelu. Tutkimusalueen jäkälä- ja kanervatyypeillä vaipasta ympäröivään maahan kasvavia hyyfejä oli niukkaa enemmän vain keskimäärin joka viidennessätoista mykoritsassa, mustikkatyyppillä vastaavasti joka toisessa. Minkäänlaista lannoitusvaikutusta ei todettu.

### 33. Eri mykoritsojen rakenne

Eri mykoritsaluokista valittiin edustavia yksilöitä valmistettavaksi mikroskooppileikkeiksi. Niistä mitatut mittasuhteita ja infektiota kuvaavat tunnuksot on esitetty taulukossa 4. Kaikissa tapauksissa infektiota oli ektotrofi, ektendomykoritsoja ei esiintynyt. Myöskään selviä parasiittisia piirteitä ei todettu. Mykoritsaluokittain tulokset olivat seuraavat:

*C-mykoritsa.* Entuudestaan on tunnettua, että C-mykoritsalle on luonteenomaista lyhytjuurten runsas haaroittuminen, vähäinen pituuskasvu, vahva kuorikerros ja paksu vaippa. Näin oli laita tässäkin aineistossa. Leikattavaksi osuneet kärjet olivat kaikilta infektiosta riippuvilta tunnuksiltaan (muut kuin keskuslieriö) muita mykoritsoja suuremmat. Yksittäisen haaran kokonaisläpimita oli 0,447 mm, kuorikerros  $2 \times 0,115$  mm, keskuslieriö 0,143 mm ja vaippa  $2 \times 0,037$  mm. Hartigin verkon paksuus säteen suunnassa oli 0,081 mm eli 70 % juuren kuoren paksuudesta.

*DN-mykoritsa.* Leikelyhytyjuuret olivat kaikki DN-mykoritsoja. Hyvin muodostuneet DN-mykoritsat ovat näin ollen luotettavasti tunnistettavissa normaalisuurennuksin. Huonosti kehittyneet (ohut vaippa, niukasti tai ei lainkaan erillisiä hyyfejä) voivat sekoittua muihin tummiin mykoritsoihin, ellei isolla suurennuksella tarkisteta vaipan pintakuviotusta. Leikkeistä tunnistaminen onnistuu aina. DN-mykoritsoille on ominaista hiilenmusta pseudoparenkymaattinen suhteellisen paksu tiivis vaippa, jossa tyypillinen kuviointi (kuvat 2 ja 3). Myös Hartigin verkko on hyvin kehittynyt. Leikkeistä mitatut tunnuksot olivat samaa luokkaa kuin hyvillä mykoritsoilla. Selvimpänä erona oli vaipan suurempi paksuus, 0,026 mm.

*DA-mykoritsa.* Leikatut yksilöt eivät mittasuhteiltaan ja infektiotunnuksiltaan oleellisesti eronneet muista mykoritsoista. Itse asiassa mittauserot olivat hyvin samat kuin hyvillä mykoritsoilla.



Taulukko 4. Eri mykoritsojen sisärakenne (mitat 0,001 mm).  
Table 4. Inner structure of different mycorrhizae (measurements 0,001 mm)

Mykoritsa <i>Mycorrhizal type</i>	Leik- keitä <i>No of short roots section- ed</i>	Tunnus <i>Characteristic</i>	CIT	MCCIT	VMT	Lannoit- tamaton <i>Unfer- tilized</i>	Urea	Nitro- form	Oulun- salpie- tari <i>Calcium ammo- nium nitrate</i>	NPK	NPK + hivenet <i>Tracers</i>	Keskim. <i>Mean</i>	Merkitsevyys <i>Significance p</i>	Kasvu- Lan- paikka <i>Site</i>	Fertiliz. <i>Fertiliz.</i>
C	48	Läpimitta	<i>Diameter</i>	416	392	519	461	472	353	523	393	371	447	0,000	0,318
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	124	103	192	138	151	93	184	104	147	143	000	041
		Vaippa	<i>Mantle</i>	034	037	041	52	47	31	32	26	19	37	098	111
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	082	071	086	79	78	71	93	86	69	81	117	355
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	112	108	122	110	114	99	138	118	93	115	263	300
DN	59	Läpimitta	<i>Diameter</i>	403	355	390	407	343	393	381	361	363	377	068	478
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	143	149	175	171	150	168	168	151	163	163	055	821
		Vaippa	<i>Mantle</i>	020	026	026	29	26	25	25	28	22	26	950	835
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	079	056	072	90	61	62	59	58	67	66	017	031
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	110	077	082	89	70	88	82	77	78	82	609	917
DA	26	Läpimitta	<i>Diameter</i>	318	365		388	303	351	287	303	332	288	036	
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	130	142		153	118	116	127	140	133	231	006	
		Vaippa	<i>Mantle</i>	016	018		15	14	24	14	20	17	038	569	
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	053	064		71	44	74	47	45	57	203	012	
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	078	093		102	78	93	66	62	83	656	094	
K	44	Läpimitta	<i>Diameter</i>		324	437	363	403	400	400	338	360	375	011	903
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>		124	153	137	127	135	118	160	142	137	011	206
		Vaippa	<i>Mantle</i>		022	033	29	40	22	30	22	27	27	000	429
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>		051	072	62	57	71	59	45	66	61	001	151
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>		077	109	84	98	111	111	67	83	92	143	722
R	67	Läpimitta	<i>Diameter</i>	319	321	363	330	317	442	323	302	330	335	920	679
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	127	131	156	130	139	167	137	126	140	138	009	851
		Vaippa	<i>Mantle</i>	014	016	016	12	15	26	20	14	11	16	897	015
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	057	054	064	61	58	54	56	55	65	59	327	398
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	082	079	088	88	74	112	73	74	84	83	175	240
Hyvät <i>Good</i>	65	Läpimitta	<i>Diameter</i>	333	333	357	356	333	341	322	341	370	342	100	478
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	135	126	152	148	126	126	134	149	160	138	071	219
		Vaippa	<i>Mantle</i>	012	014	014	13	14	15	11	14	14	13	280	527
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	062	063	077	72	68	71	66	68	60	68	002	936
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	087	090	088	91	89	93	83	82	91	88		
Keskin- kertaiset <i>Medium</i>	74	Läpimitta	<i>Diameter</i>	316	307	311	326	323	290	319	293	320	311	849	565
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	150	142	137	131	164	128	136	130	171	143	567	068
		Vaippa	<i>Mantle</i>	011	011	019	15	10	11	21	11	14	13	000	000
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	054	053	051	62	52	50	52	57	41	53	006	008
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	072	072	068	82	69	71	71	71	60	71	315	003
Huonot ja pseudot <i>Poor and pseudo</i>	61	Läpimitta	<i>Diameter</i>	273	272	277	264	253	319	272	278	260	274	874	219
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	151	119	110	124	130	136	135	120	107	125	026	504
		Vaippa	<i>Mantle</i>	010	008	009	8	8	12	7	9	8	9	394	493
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	041	043	053	41	46	57	46	43	45	46	018	125
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	051	069	075	62	53	79	61	70	69	66	001	093
Keskim. <i>Mean</i>	444	Läpimitta	<i>Diameter</i>	330	327	375	362	349	355	361	324	335	348	000	052
		Keskuslieriö	<i>Central cylinder</i>	137	130	154	142	141	134	141	133	146	140	000	913
		Vaippa	<i>Mantle</i>	016	018	022	22	23	20	21	17	17	20	000	015
		Hartigin verkko	<i>Hartig net</i>	058	055	068	67	60	60	63	57	57	61	000	052
		Juuren kuori	<i>Cortex</i>	081	081	088	89	81	91	89	78	78	88	028	128

Erityisesti on huomattava, että määritelmän edellyttämää sekundääristä vaippaa ei todettu ainoasakaan tapauksessa. Luokka osoittautui hyvin heterogeeniseksi. Vähäinen osa oli DN-mykoritsaa, jonka vaippa oli tavanomaista ohuempi ja josta ei hyyfejä juurikaan kasvanut ympäristöön. Osa oli muiden tummarihmastoisten sienilajien muodostamia hyviä, keskinkertaisia tai huonoja mykoritsoja. Eniten oli keskinkertaisia ja huonoja mykoritsoja, joiden rihmastossa ei ollut mustaa pigmenttiä, vaan tumma väri johtui kuorikerroksen uloimpien solujen poikkeuksellisen suuresta tanniinipitoisuudesta.

*K-mykoritsa.* Myös K-mykoritsat olivat paksuvaippaisia. Osittain se on kuitenkin näennäistä. K-mykoritsalle on ominaista paksuudeltaan suuresti vaihteleva vaippa ja mittaus tehtiin parhaiten kehittyneestä osasta. Rakenteeltaan se oli löyhä ja muuttui huomaamatta ympäröivään maahan kasvavaksi rihmastojänteeksi (kuva 5). K-mykoritsojen tunnistus ulkopuolisella mikroskopoinnilla on varmaa. Leikkeistä se ei onnistuisikaan. Sinkkilällistä *Corticium*-rihmastoa oli havaittavissa, mutta riittäviä lajituntomerkkejä sillä ei ollut. Monissa K-mykoritsoissa oli, lähinnä tyviosassa, myös muita mykoritsasienilajeja.

*R-mykoritsa.* Leikelyhtjuuret olivat rakenteeltaan edellisen kaltaisia. Vaippa oli löyhärakenteinen (kuva 6) ja paksuudeltaan vaihteleva. Mittausarvot olivat hyvien mykoritsojen tasoiset. Sieniosapuolena oli rihmastosta päätellen runsaasti eri sienilajeja.

*Hyvät sileät mykoritsat.* Näiden mykoritsojen edellytettiin silmävaraisesti tarkastellen näyttävän nuorilta, elinvoimaisilta, kookkailta ja hyvävaipaisilta. Leikkeistä mitatut keskimääräisarvot olivat: kokonaisläpimitta 0,342 mm, kuorikerros  $2 \times 0,088$  mm, keskuslieriö 0,138 mm, vaippa  $2 \times 0,013$  mm ja Hartigin verkko 0,068 mm. Nämä arvot luonnehtivat suhteellisen kookkaiden lyhytjuurien tasapainoista infektiokehitystä. Vaippa oli paksuudeltaan verrattain tasainen, yleensä tiivisrakenteinen ja sileä. Erillisiä hyyfejä ei juuri näkynyt. Muodostavia sienilajeja oli ilmeisesti runsaasti.

*Keskinkertaiset sileät mykoritsat.* Nämä mykoritsat olivat leikkeinä tarkastellen hyvin edellisen luokan kaltaisia. Keskimäärin ne olivat kuitenkin kuorikerrokseltaan selvästi ohuempia. Myös Hartigin verkko oli matalampi.

*Huonot ja pseudomykoritsat.* Tämä ”jäännös-luokka” oli hyvin heterogeeninen. Kookkaiden ohella oli pieniä heikosti kehittyneitä lyhytjuuria. Keskimäärin tämän luokan lyhytjuuret olivat kaikkein ohuimpia sekä keskuslieriön läpimitaltaan että kuorikerroksen paksuudeltaan. Yllättävää oli homogeenisuus mykoritsainfektion suhteen. Mykoritsarakenne ei puuttunut yhdestäkään leikatusta lyhytjuuresta. Hartigin verkko oli kaikissa. Keskimäärin se oli kuitenkin selvästi matalampi kuin hyvillä ja keskinkertaisilla mykoritsoilla sekä absoluuttisesti että suhteessa kuorikerroksen paksuuteen. Vaippa oli joissakin tapauksissa normaalin paksuinen mutta toisaalta puuttui 31 % tapauksista kokonaan. Keskimäärin se oli selvästi ohuempi kuin muissa luokissa.

Edelläolevaa kuvaa täydentävät leikkeistä määritetyt juuren kuorikerroksen kuntoa koskevat havainnot. Ne tehtiin tarkastelemalla leikkeitä kokonaisuutena. Huonokuntoiseksi luokiteltiin kuorikerros, jossa oli kuolleita soluja ja alkavaa kokoonpainumista. Kuolleissa kuorikerroksessa ei ollut eläviä soluja, ja kuorikerros oli romahtamassa tai romahtanut. Kokonaan kuolleita lyhytjuuria ei leikkeisiin sisältynyt.

Hyvät sileät mykoritsat olivat kunnoltaan parhaat. Kuorikerrokseltaan huonokuntoisia niistä oli vain 5 %. Keskinkertaisten luokassa vastaava prosentti oli 14, mutta huonojen ja pseudomykoritsojen luokassa se oli moninkertainen, 61 %. Viimemainitun ero edellisiin

oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Tapauksia joissa kuorikerros oli jo kuollut oli edellisten lisäksi 13 %. Muissa em. luokissa niitä oli 0,8 %. Nämä luvut merkitsevät sitä, että huonojen ja pseudomykoritsojen ”jäteluokkaan” oli joutunut ohuiden niukasti infektioituneiden nuorien lyhytjuurten ohella vanhoja, huonokuntoisia, kuorikerrokseltaan kutistuneita alunperin hyviäkin mykoritsoja. Pseudomykoritsoille luonteenomaisena pidettyä solunsisäistä infektiota niissä ei tavattu paitsi epäselvänä joissakin tapauksissa em. degeneroitumisvaiheissa, jolloin huono leikkautuminen esti tarkkojen havaintojen teon.

Taulukon 4 mykoritsakohtaisilla tunnuksilla on viisi tilastollisesti erittäin merkitsevää, kahdeksan merkitsevää, kymmenen jokseenkin merkitsevää ja seitsemän suuntaa-antavaa eroa. Eroja oli kaikkien mykoritsojen osalla. Näihin yksittäiseroihin ei kuitenkaan ole aihetta panna aivan tavanomaista painoa. Näin siksi, että kaikista näytelyhtjuurista ei saatu mittaustulosta. Osa lyhytjuurista, ilmeisesti huonokuntoisimmat, tuhoutui leikkeitä valmistettaessa. Sienilajien klooneittaisesta esiintymisestä johtuen sisäinen vaihtelu saattaa jäädä todellista pienemmäksi. Käsitely- ja mykoritsakohtaisesti jaotellen aineisto on myös niukka aiheuttaen keskiarvoihin sattumanvaraisuutta.

Luontevampaa onkin tarkastella leikeaineistoa kokonaisuudessaan. Tällöin havaitaan ensinnäkin kasvupaikan suhteen merkitsevyyksiä 19 ja lannoituksen suhteen 11 kpl. Tämä tulos on yhdenmukainen taulukoiden 2 ja 3 lukujen kanssa, joiden mukaan myös eri mykoritsojen lukumääriin kasvupaikan vaikutus oli lannoitusta suurempi.

Leikemittausten painottamattomat keskiarvot osoittavat huomattavaa säännönmukaisuutta. Itse asiassa kaikki mitatut tunnukset olivat viljavalla maalla karua suuremmat ja erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Se kertoo lyhytjuurten kasvaneen viljavalla maalla muita suuremmiksi ja myös niiden infektio oli voimakkaampi. Erityisen selvänä tämä näkyy infektioitunnuksista ehkä keskeisimmän eli vaipan paksuuden kohdalla. Se lisääntyi kasvupaikan parantuessa ja tämä toistui samansuuntaisena kaikkien varsinaisten mykoritsojen osalta. Hartigin verkon osalta tämä tendenssi oli hieman lievempi.

Lannoituksen vaikutus on keskiarvotuloksissa myös hyvin näkyvissä. Lannoittamattomilla koeruuduilla lyhytjuuret olivat kaikkien mitattujen tunnusten osalta lähes poik-

keuksetta muita suuremmat, vaikka eri mykoritsatyyppien osalta on huomattavaa vaihtelua. Lannoituksen seurauksena lyhytjuuret jäivät sekä läpimitaltaan että kuorikerrokseltaan normaalia hieman ohuemmiksi. Mykorsarakenteen häviämistä ei todettu, mutta vaippa ja Hartigin verkko olivat selvästi normaalia heikommin kehittyneet. Eri lan-

noituksia tarkastellen kiinnittää huomiota NPK-käsittelyjen keskinäinen samanlaisuus ja toisaalta selvästi muita heikommat arvot. Tulosten mukaan erityisesti NPK-käsittely ohensi vaippaa, mataloitti Hartigin verkkoa, heikensi kuorikerrosta ja pienensi lyhytjuurten läpimittaa.

#### 4. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksessa selvitettiin kivennäismaan käytännötasoisien lannoituksen vaikutuksia juuriston ohuimpiin haaroihin, lyhytjuuriin, humuksen pintakerroksessa männiköissä. Runkotilavuuden kasvun lisääntyessä lannoituksen seurauksena huomattavasti, jopa kaksinkertaistuesssa, lannoituksen maanalaisvaikutus osoittautui selvästi vähäisemmäksi ja vaikeaksi todeta.

Lyhytjuurten määräksi saatiin keskimäärin 48 kpl/cm<sup>3</sup>. Se on samaa suuruusluokkaa kuin Lehdon (1984) tutkimissa männiköissä sekä kolminkertainen verrattuna eräeseen vanhempaan kotimaiseen selvitykseen (Mikola ja Laiho 1962).

Juurenkärkien lukumäärän tarkka määrittäminen on sekä työläs että vaikea. Työläs siksi, että juurten poimiminen erilleen maasta on hidasta ja vaatii erityistä kärsivällisyyttä samoin kuin kärkien laskeminenkin. Vaikeutena on kuolleiden juurenkärkien erottaminen elävistä. Elävien määrästä tulee helposti aliarvio pituuskasvunsa lopettaneiden vanhojen mykoritsojen näyttäessä kuolleilta vaikeivat sitä vielä olekaan (Mikola ja Laiho 1962). Aivan tarkkaan lukumäärään pääseminen on vaikeaa. Ensisijaisena tavoitteena tuleekin olla eri käsittelyjen vertailukelpoisuus. Sen takaamiseksi on välttämätöntä, että sama henkilöstö muuttumattomalla metodiikalla käsittelee koko aineiston.

Lyhytjuuriston määrä on luontevaa ilmaista myös kuivapainona. Se oli keskimäärin 4,75 mg/cm<sup>3</sup> eli 2400 kg/ha edellyttäen että humuskerroksen ylin senttimetri edustaa noin viidennestä koko lyhytjuuristosta (vert. Mikola ja Laiho 1962, Mikola ym. 1966).

Lannoituksella ei lyhytjuurten määrään ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta. Tendenssinä oli kuitenkin lievä väheneminen

tyypilannoituksen seurauksena. Lyhytjuurten lukumäärää selvemmin se näkyy kuivapainossa, joka lannoittamattomilla koealoilla oli keskimäärin suurin ja NPK-ruuduilla pienin. Em. tendenssi tuntuu luontevalta siinä mielessä, että lannoituksen aiheuttama ravinteiden parempi saatavuus on omiaan painottamaan lähinnä verson kehitystä. Ruotsissa onkin todettu (Persson 1980), että varttuneen täystiheän männikön ”valmis” juuristo ei mainittavasti reagoi lannoitukseen. Pikeminkin uusia lyhytjuuria muodostuu aikaisempaa vähemmän. Tämä on todettu myös Sitkan kuusella Skotlannissa (Alexander ja Fairley 1983), jossa lannoitus toisaalta pidenesi lyhytjuurten elinikää ja näytteenoton ajankohdasta riippuen joko lisäsi tai vähensi lyhytjuurimäärää.

Kasvupaikan vaikutus lyhytjuuristoon oli lannoitusvaikutusta suurempi. Korkein lyhytjuuritiheys oli jäkälätyypillä, vaikka puusto sillä oli vähäisin. Lyhytjuurten kokonaismäärän enemmyyttä tämä ei kuitenkaan sellaisenaan merkitse. Tasaavana tekijänä on otettava huomioon lyhytjuurten ilmeinen keskittyminen viljavampia kasvupaikkoja enemmän jäkälätyypin ohueen humuskerrokseen. Kuusikoissa lyhytjuuritiheys on niin ikään viljavilla ja karuilla kasvupaikoilla oleellisesti sama (Mikola ja Laiho 1962). Jo varhemmin on Laitakari (1927) juurisummia kaivuumenetelmällä määrittäen todennut juuriston aktiivisen kehityksen karuilla mailla. Samankokoisista männistä oli juuristo karuimmalla kasvupaikalla runsain.

Lyhytjuurista oli gabelmykoritsoja keskimäärin neljännes. Se merkitsee tasaisen hyvää infektiota (vert. Mikola 1957, Mikola ja Laiho 1962, Mikola ym. 1966, Lehto 1984). Yllättävästi hyviä mykoritsoja oli vain vajaa

prosentti. Varhemmin niitä on samantapaisessa männikössä todettu jopa 56 % (Mikola ja Laiho 1962). Tällöin näytteet otettiin keskellä kasvukautta, jolloin juurenkärjet ovat nuoria, vaaleita ja täyteläisen sileitä. Lisäksi luokitus tehtiin tuolloin välittömästi juuri-näytteiden noston jälkeen samana päivänä. Säilytys ja vähäinenkin kuivuminen muuttavat huomattavasti monien mykoritsojen väriä (mm. Laiho 1970). Tulokseen vaikuttaa myös luokittelijan näkemys, sillä hyvien, keskinkertaisten ja huonojen mykoritsojen väliset erot ovat liukuvat. Eri henkilöt rajaa- vat luokat aina, samoin kuin koulutettuina, hieman eri tavoin. Vain saman henkilön mikroskooppimena aineiston sisäinen vertailukelpoisuus säilyy.

DA-mykoritsoja luokitettiin alunperin vähän, mutta leikkeistä ei yksikään täyttänyt määritelmän vaatimuksia: sekundääristä vaippaa ei ollut. Näyttääkin siltä, että tämän luokan käytöstä on syytä luopua (vert. Mikola ja Laiho 1962, Lehto 1984).

C-, DN-, K- ja R-mykoritsojen tunnistaminen onnistui silmävaraisesti luotettavasti. Luokittelua ei ollut tarpeen leikkeiden perusteella korjata. Pseudomykoritsojen osalta tilanne oli päinvastainen. Silmävaraisesta runsaudesta huolimatta niitä ei leikkeitä tiukasti arvioiden ollut lainkaan. Kaikissa leikkeysilöissä oli ainakin vähän Hartigin verkkoa, useimmiten myös vaippaa. Pääasiassa oli kysymys vanhoista mykoritsoista, joiden kuorikerros oli tuhoutumassa. Mykoritsan kuorikerros säilyi elävänä vain lyhyen aikaa, 1—2 kasvukautta, mutta lyhytjuuret ovat useimmiten pitkäikäisempiä. Ne kasvatav pituutta ja näin kärkiosa pysyy toimivana kuorikerroksen tuhoutuessa ja juuren korkkiutuessa. Pituuskasvun vuosien myötä hii- puessa lyhytjuuri näyttää päälle päin täysin kuolleelta ainakin pääosan vuotta.

Lannoituksen mahdollinen vaikutus eri mykoritsaluokkien esiintymiseen ei aineistos- sa juuri tule näkyviin. Selvin ero oli DN-mykoritsojen osalla, vaikutus oli lievästi lisäävä. Toisaalta DN-mykoritsa voi typpilannoituksen seurauksena myös hävitä (Alexander ja Fairley 1983). Huomattakoon että DN-mykoritsa reagoi muita herkemmin myös kalkitukseen, Lehdon (1984) tutkimissa männiköissä kalkitus nosti sen vallitsevaksi lajiksi.

Kasvupaikan vaikutus oli lannoitusta suu- rempi. Jäkälätyypillä sienilajisto oli niukka ja mykoritsat rakenteeltaan kaljuja. DN- ja K-mykoritsat puuttuivat, hyviä mykoritsoja oli

niukasti ja vastaavasti keskinkertaisia ja huonoja enemmän kuin viljavalla maalla. Ero oli suuri myös hyyfisyudessa. Aineisto tukee varhempia havaintoja mykoritsojen heikosta kehittymisestä karuilla kasvupaikoilla (Björkman 1942, Mikola 1963).

Mykoritsojen rakenne voi muuttua pal- jonkin ilman että se näkyy niiden luokituk- sessa. Niinpä *Cenococcumin* infektoima lyhyt- juuri on DN-mykoritsa riippumatta infektion voimakkuudesta ja rihmaston määrästä. Täl- laisia vähittäisiä muutoksia voidaan mitata infektioitunuksin. Hyvin kehittyneiden ek- tomykoritsojen keskeisimmät tunnukset ovat paksu vaippa ja syvä Hartigin verkko (Miko- la 1963). Kumpikin tunnus oli tuoreella kaa- kaalla paremmin kehittynyt kuin jäkälätyy- pillä ja mykoritsat näinkin arvostellen keski- hyvällä maalla karua kasvupaikkaa parem- min kehittyneet.

Vastaavanlainen ero oli myös lannoituk- sen seurauksena. Lannoittamattomien koe- alojen mykoritsat olivat vaipaltaan muita paksumpia ja Hartigin verkko syvempi. Huomiota kiinnittää, että kummallakin NPK-käsittelyllä mykoritsat olivat näin arvostellen selvästi ja tilastollisesti merkitsevästi huonoimmat. Samalla ne olivat muita ohu- emmat, joka sekin ominaisuus on merkki in- fektion heikkoudesta (esim. Björkman 1942, Persson 1980). Toisaalta tiedetään NP-lan- noituksen heikentävän mykoritsojen muo- dostumisedellytyksiä vähentämällä sakkaroo- sin määrää juurissa (Marx ym. 1977). Tässä valossa selittyisi yksinään annetun typen vä- häisempi haittavaikutus mykoritsan muodos- tukseen. Tulos korostaa leikkeistä tehtävien tarkkojen mittausten merkitystä. Ilman niitä ei vähäisiä liukuvia eroja voida saada selville.

Vastaavanlaisissa muissa tutkimuksissa on todettu mykoritsojen osuuden typpilannoit-uksen seurauksena alentuneen. Lannoitus- ruuduilla ko. osuus on ollut esim. 55—91 % ja vertailuruuduilla 63—95 % (Ritter ja Tölle 1978, Alexander ja Fairley 1983). Käsilläole- vassa aineistossa tällaista eroa ei ollut. Kaik- ki lyhytjuuret olivat käsittelystä riippumatta jonkinlaisia mykoritsoja, eroa oli vain infek- tion voimakkuudessa. Ristiriita on näennäi- nen. Melinin (1927) mukaan pseudomykorit- sassa voi olla vähän vaippaa, Hartigin verk- koa tai molempia. Tässä tutkimuksessa tul- kittiin niiden vähäinenkin määrä mykoritsan merkiksi, ja näin infektio prosentti nousi sa- daksi.

Suurimmat lannoitusvaikutukset jäivät

tässä tutkimuksessa mitä ilmeisimmin havaitsematta. Niitä olisivat sienilajikohtaiset muutokset. Jos näiden koalojen koko monisatalukuinen mykoritsasienilajisto olisi voitu tunnistaa, lannoitusvaikutuksia olisi varmasti havaittu runsaasti. Tähän viittaa mm. Alexanderin ja Fairleyn (1983) tutkimusaineisto. Käsilläolevan tutkimuksen koaloilla itiöemien tyypipitoisuus nousi lannoitusta seuraavina vuosina selvästi (Ohtonen 1983) ja sienisadossa tapahtui sekä määrällisiä että lajistollisia muutoksia (Ohenoja 1983). Viimeainitut merkitsevät muutoksia myös mykoritsatasolla, sillä mykoritsojen ja itiöemien lukumäärät tietyllä kasvupaikalla ovat kiinteässä positiivisessa korrelaatiossa (Laiho 1970). Näin ollen itiöemähavainnoilla voidaan arvokkaalla tavalla täydentää varsinaisia mykoritsatutkimuksia, joita ei muuten

juurikaan voida vielä maastossa ulottaa sienilajitasolle.

Oleennaista tämän tutkimuksen tuloksille on, että käytännön suositusten mukainen metsänlannoitus ei vähentänyt mykoritsojen määrää. Niiden rakennetta se heikensi vähentäen hieman vaipan paksuutta ja Hartigin verkon syvyyttä. Sienilajien keskinäisiin runsaussuhteisiin lannoitus ilmeisesti vaikutti paljonkin. Näytteenottohetkellä (4 v. lannoituksesta) suurin lannoitusvaikutus lienee ollut jo ohi. Toisaalta tutkimus kohdistettiin humuksen pintaan, jossa lannoitusvaikutus on ainakin aluksi suurin. Kysymyksen tarkempi selvittäminen edellyttää tavanomaisen ohella ylisuuria lannoiteannostuksia ja vaikutusten seurantaan koko juuristokerroksesta otetuin toistuvain näyttein.

## 5. YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tavanomaisen metsänlannoituksen mahdollista vaikutusta lyhytjuurten määrään, eri mykoritsoihin ja niiden rakenteeseen kivennäismaan männiköissä. Aineisto koostuu kolmesta pudasjärveläisestä metsiköstä (CIT, MCCIT, VMT), joissa kussakin oli kuusi lannoituskäsittelyä kahtena toistoruutuna. Neljä vuotta lannoituksesta otettiin humuksen pinnasta 1 cm:n paksuisia näytteitä, joista eroteltiin, luokitettiin ja mikroskoipoitiin männyn lyhytjuuret.

Lyhytjuurten määrä oli suuri, 48 kpl/cm<sup>3</sup> eli 2400 kg/ha. Jäkälätyypin ohuessa pinta-humuksessa lyhytjuuria oli muita kasvupaikkoja enemmän. Lannoitusvaikutusta ei todettu.

Lyhytjuuret luokitettiin kahdeksaan luokkaan. Ensisijaisena luokitteluperusteena oli mykoritsan muodostava sienilaji, toissijaisena mykoritsojen ulkorakenne. Lajilleen voitiin tunnistaa kuitenkin vain muutama symbiontti eli C-, DN- ja K-mykoritsat. Näin luokittelu jäi keskeisesti rakenteellisen samanlaisuuden varaan, mikä ei välttämättä merkitse toiminnallista samanlaisuutta.

Kaikki lyhytjuuret olivat jonkinlaisia mykoritsoja. Infektoitumattomia lyhytjuuria ei esiintynyt. Jäkälätyypillä sienilajisto oli niu-

kin ja mykoritsarakenne heikoin. DA-, DN-, K- ja hyviä mykoritsoja siellä oli kasvupaikoista vähiten ja keskinkertaisia ynnä huonoja eniten. Lannoitusvaikutus ilmeni mykoritsojen ulkoisessa rakenteessa vain DN-mykoritsan vähäisenä lisääntymisenä.

Mykoritsojen sisärakenteessa oli merkittäviä kasvupaikoittaisia ja lannoituskäsittelyn aiheuttamia eroja. Infektion voimakkuuden keskeiset tunnuksot, vaipan paksuus ja Hartigin verkon syvyys vahvistuivat kasvupaikan parantuessa. Jäkälätyypillä ne olivat selvästi heikommin kehittyneet kuin tuoreella kankaalla (vaippa 16  $\mu\text{m}$  vastaan 22  $\mu\text{m}$ , Hartigin verkko 58  $\mu\text{m}$  vastaan 68  $\mu\text{m}$ ). Lannoitus ja nimenomaan NPK-käsittely vaikutti niihin haitallisesti vaipan ohetessa (22  $\mu\text{m}$  vastaan 17  $\mu\text{m}$ ) ja Hartigin verkon tullessa matalammaksi (67  $\mu\text{m}$  vastaan 57  $\mu\text{m}$ ). Erot toistuivat eri mykoritsatyyppien osalta varsinkin johdonmukaisesti ja olivat tilastollisesti merkitseviä.

Tulosten mukaan käytännön metsätaloudessa kivennäismailla käytettävä lannoitus ei estä mykoritsanmuodostusta. Mykoritsojen rakennetta se kuitenkin heikentää ja muuttanee samalla sienilajien keskinäisiä runsaussuhteita suurestikin.

## KIRJALLISUUS

- Alexander, I.J. & Fairley, R.I. 1983. Effects of N fertilization on populations of fine roots and mycorrhizas in spruce humus. *Plant and Soil* 71: 49—54.
- Anttila, T. & Lähde, E. 1977. Lannoituksen vaikutus paperikenoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa. Summary: Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery. *Folia Forestalia* 314. 19 s.
- Björkman, E. 1942. Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. *Symbolae Botanicae Upsaliensis* 6(2).
- Dominik, T. 1959. Synopsis of a new classification of the ectotrophic mycorrhizae established on morphological and anatomical characteristics. *Mycopathologia et Mycologia Applicata* 11(4).
- Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. *Acta Forestalia Fennica* 65(3). 85 s.
- Hintikka, V. 1974. Some types of mycorrhizae in the humus layer of conifer forest in Finland. *Karstenia* 14:9—11.
- Hohtola, A. 1982. Mikrotekniikan työmoniste. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos. 24 s.
- Kalela, A. 1961. Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatische Paralleltypen. *Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 16:65—83.
- Laiho, O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. *Acta Forestalia Fennica* 106. 72 s.
- 1980. Mykoritsakehitys taimitarhassa. *Suonenjoen metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja* 35:19—25.
- & Mikola, P. 1964. Studies on the effect of some eradicants on mycorrhizal development in forest nurseries. Seloste: Kasvinsuojeluaineiden vaikutus mykoritsan kehitykseen metsätaimitarhoissa. *Acta Forestalia Fennica* 77(2). 34 s.
- Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo. *Acta Forestalia Fennica* 33(1). 380 s.
- Lehto, T. 1984. Kalkituksen vaikutus männyn mykoritsoihin. Summary: The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine. *Folia Forestalia* 609. 20 s.
- Marx, D.H., Hatch, A.B. & Mendicino, J.F. 1977. High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine root to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. *Canadian Journal of Botany* 55:1569—1574.
- Melin, E. 1927. Studier över barrträdplantans utveckling i råhumus. II Mykorrhizas utbildning hos tallplantan i olika råhumusformer. — Meddelelser från Statens Skogsförsöksanstalt 23:433—494.
- Meyer, F.H. von. 1984. Mykologische Beobachtungen zum Baumsterben. *Allgemeine Forstzeitschrift* (9): 212—228.
- Mikola, P. 1948. On the physiology and ecology of *Cenococcum graniforme* especially as a mycorrhizal fungus of birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 36(3). 104 s.
- 1957. Tutkimuksia taimitarhamaasta ja sen vaikutuksesta taimien kehitykseen. Summary: Studies on soil properties and seedling growth in Finnish forest nurseries. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 49(2). 78 s.
- 1961. The bright yellow mycorrhiza of birch. XIII IUFRO-Kongress. Wien. 2(1).
- 1963. Beziehungen der Mykorrhizen zu forstlichen Humustypen. Teoksessa: *Mycorrhiza. Internationales Mycorrhizasymposium Weimar 1960*. VEB Gustaf Fischer Verlag, Jena. s. 279—284.
- 1965. Studies on the ectendotrophic mycorrhiza of pine. *Acta Forestalia Fennica* 79(2). 56 s.
- , Hahl, J. & Torniainen, E. 1966. Vertical distribution of mycorrhizae in pine forests with spruce undergrowth. *Annales Botanici Fennici* 3:406—409.
- & Laiho, O. 1962. Mycorrhizal relations in the raw humus layer of northern spruce forests. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 55(18). 13 s.
- , Laiho, O., Erikäinen, J. & Kuvaja, K. 1964. The effect of prescribed burning on the commencement of mycorrhizal association. Selostus: Kuloutuksen vaikutus mykoritsainfektion alkamiseen. *Acta Forestalia Fennica* 77(3). 13 s.
- Ohenoja, E. 1983. Lannoituksen vaikutuksesta kangasmetsien syysienisatsoon Pudasjärvellä vuosina 1979—80. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos. LAVAME-projektin tutkimusraportti 2. 49 s.
- Ohtonen, R. 1983. Lannoituksen vaikutuksesta kangarouskun ja kangastatin kokonaistyyppipitoisuuteen. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos. LAVAME-projektin tutkimusraportti 3. 26 s.
- Pachlewski, R. & Pachlewska, J. 1974. Studies on symbiotic properties of mycorrhizal fungi of pine (*Pinus silvestris* L.) with the aid of the method of mycorrhizal synthesis in pure cultures on agar. *Forest Research Institute. Warsaw*. 228 s.
- Persson, H. 1980. Fine-root dynamics in a Scots pine stand with and without near-optimum nutrient and water regimes. *Acta Phytogeographica Suecica* 68: 101—110.
- Rikala, R. 1978. Maanparannus, lannoitus ja kastelu keskustaimitarhoilla. *Suonenjoen metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja* 24. 31 s.
- Ritter, G. & Tölle, H. 1978. Stickstoffdüngung in Kiefernbeständen und ihre Wirkung auf Mykorrhizabildung und Fruktifikation der Symbiosepilze. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 12(4):162—166.
- Sarjala, T. & Kupila-Ahvenniemi, S. 1982. Development of mycorrhizae in seedlings of the Scots pine during the first two growing seasons. *Aquilo Ser. Botanica* 18:16—26.
- Slankis, V. 1963. Der gegenwärtige Stand unseres Wissens von der Bildung der ektotrophen Mykorrhiza bei Waldbäumen. Teoksessa: *Mycorrhiza. Internationales Mycorrhizasymposium Weimar 1960*. VEB Gustaf Fischer Verlag, Jena. s. 175—183.
- 1967. Renewed growth of ectotrophic mycorrhizae as an indication of an unstable symbiotic relation-

- ship. XIV IUFRO-Kongress. München. 5:84—99.
- Trappe, J.M. 1962. Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae. The Botanical Review 28:538—606.
- 1964. Mycorrhizal hosts and distribution of *Cenococcum graniforme*. Lloydia 27(2):100—106.
- 1967. Principles of classifying ectotrophic mycorrhizae for identification of fungal symbionts. XIV. IUFRO-Kongress. München. 5:46—59.
- Wilcox, H.E. 1968. Morphological studies of the root of red pine, *Pinus resinosa*. I. Growth characteristics and patterns of branching. American Journal of

- Botany 55:247—254.
- & Marsh, L.C. 1964. Staining plant tissues with chlorazol black E and pianese III-B. Stain Technology 39:81—85.
- Zak, B. 1973. Classification of ectomycorrhizae. Teoksesa: Marks, G.C. & Kozlowski, T.T. (Toim.). Ectomycorrhizae — their ecology and physiology. Academic Press. New York — London. s. 43—78.

Total of 38 references

## SUMMARY

### Effect of fertilization on mycorrhizae in pine stands

In forest tree nurseries seedlings are heavily fertilized, which weakens the formation of mycorrhizae or may even prevent it. Fertilization of mature forests is also common in Finland. For this reason it is important to know whether the formation of mycorrhizae is affected by the currently used forest fertilization levels.

Sample plots were set up in three pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in Pudasjärvi (65° 30' N, 27° E, 120—190 m above sea level) in North Finland. The stands were 75—95 years old, almost fully stocked representing the most typical site types for pine in the area. The least fertile site (CIT, *Cladonia* type) was on a thinhumus sandy soil and almost without vegetation because of reindeer grazing. MCCIT (*Myrtilus-Calluna-Cladonia* type) and VMT (*Vaccinium-Myrtilus* type) were on sandy moraine. The sample plots (40 × 40 m) were fertilized in the spring of 1979 with nitrogen (200 kg N/ha as urea, calcium ammonium nitrate or nitroform), NPK (urea + apatite (45 kg P/ha) + biotite (83 kg K/ha) or the latter supplemented with micro-nutrients, with two replications in each stand.

Root samples were taken in the spring four years later.

Five one-cm-thick samples from the surface humus were taken with a 3-cm-diameter tube on each plot. The samples were stored frozen and live roots of less than 2 mm in diameter were removed with tweezers from the humus. Then short root tips were counted and classified primarily according to the fungus species and secondarily to mycorrhizal structure in the following eight categories:

*C mycorrhiza*. A ball-shaped mycorrhiza with a thick mantle. Formed as a result of repeated, dichotomous branching of the root tip, to even as many as tens of short branches. The mycorrhiza is formed by Boletes.

*DN mycorrhiza*. A jet black mycorrhiza formed by *Cenococcum graniforme*. The mantle is thick and pseudoparenchymatically tight. The typical surface pattern is caused by radially oriented hyphae (Figs. 2 and 3).

*DA mycorrhiza*. A mycorrhiza formed by any fungus species on the surface of which *Mycelium radialis atrovirens* fungus has formed a dark secondary mantle.

*K mycorrhiza*. A bright yellow rhizomorphal mycorrhiza formed by *Corticium bicolor*. A typical species in the mineral soil humus (Figs. 4 and 5).

*R mycorrhiza*. Other mycorrhizae with rhizomorphs and hyphal strands (Fig. 6).

*Good mycorrhizae*. Large, smooth-mantled, young and well-formed mycorrhizae (Figs. 1 and 7).

*Medium mycorrhizae*. Similar to the above-described but thinner and, by ocular estimation, not so well developed.

*Poor and pseudomycorrhizae*. Similar to the former but still thinner and less developed. Pseudomycorrhizae are characterized by onesided parasitic, mild intracellular infection. The poor mycorrhizae display a genuine but scanty mycorrhizal infection. The short roots that did not belong to previous ones were classified in this category without more specified analyzation.

Representative samples were taken from these groups in order to confirm the classification. The samples were embedded in paraffin and stained with Safranin Fast green double stain. A total of 444 short root sections were obtained and their microscopying showed that the classification was successful except for DA mycorrhizae and pseudomycorrhizae which were missing (all the short roots had at least some mantle and/or Hartig net). The number of good mycorrhizae was exceptionally low, obviously due to the strict classification criteria.

Fertilization hardly at all affected the occurrence of mycorrhizal types in the stands studied (Tables 1—3). Only DN mycorrhizae may slightly have increased. The influence of the site was, however, significant. *Cladonia* site had few symbionts and mycorrhizae lacked outside

hyphae. No DN and K mycorrhizae occurred, good mycorrhizae were few, while medium and poor types were more than on fertile soil.

Fertilization did not prevent infection. All the short roots were some kind of mycorrhizae. The influence on their inner structure was, however, obvious and statistically significant (Table 4). The NPK fertilized plots, in particular, differed from the unfertilized ones. The mantle of short roots was significantly thinner than on control plots (17  $\mu\text{m}$  versus 22  $\mu\text{m}$ ). Similarly, the Hartig net was less penetrating (57  $\mu\text{m}$  versus 67  $\mu\text{m}$ ).

A corresponding difference could be seen when comparing the mycorrhizal structure in different sites. On the least fertile site the mantle was significantly thinner than on the best site (16  $\mu\text{m}$  and 22  $\mu\text{m}$ , respectively). Similarly, the Hartig net was thinner (58  $\mu\text{m}$  versus 68

$\mu\text{m}$ ). This trend recurred logically from one mycorrhizal category to another.

As known thick mantle and strong Hartig net refer to well-developed mycorrhiza. Thus the mycorrhizal structure was much better on VMT than CIT sites. NPK fertilization weakened the mycorrhizal structure but did not prevent its formation.

The proportional occurrence of various mycorrhizal fungus species was evidently affected by fertilization, although no detailed research was carried out. When evaluating the results, attention should be paid to the fact that the strongest fertilization effect had probably already passed at the sampling moment (four years after fertilization). On the other hand, the focus was on the surface humus which is under the strongest fertilization influence.







# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema  
*Punkaharju Research Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Experimental Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 1511

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 678 Isomäki, Antti: Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen.  
Effects of line corridors on the development of edge trees.
- No 679 Peltonen, Antti: Metsien uudistaminen turvemaiden kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.  
Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978—1979.
- No 680 Naskali, Arto: Keskittymisindeksit ja ostajien keskittyminen Pohjois-Suomen raakapuumarkkinoilla.  
Concentration indices and buyer concentration in the roundwood markets in Northern Finland.
- No 681 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla.  
Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas.
- No 682 Voipio, Raili: Puiden biomassan vitamiinipitoisuus.  
Vitamin content of tree biomass.
- No 683 Uusvaara, Olli & Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia.  
Solid content and other technical properties of forest chips.
- No 684 Rikkinen, Pentti: Havutukkien kuorelliseen latvaläpimittaan perustuva tilavuuden määrittäminen.  
Volume of coniferous saw logs based on top diameter over bark.
- No 685 Huuri, Olavi, Lähde, Erkki & Huuri, Leena: Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen.  
Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations.
- No 686 Valtanen, Jukka & Engberg, Mikael: Vuosina 1970—72 perustetun aurausaluiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla.  
The results from Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970—72.
- No 687 Nurmi, Juha: Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa.  
Drying of fuel chips and chunks in wooden bins.
- No 688 Juntunen, Marja-Liisa (red.): Arbets säkerhet och belastning vid självverksam skogsägares drivningsarbete — NSR slutrapport.  
Work safety and strain of self-employed forest owners during logging.  
Työturvallisuus ja kuormittuminen omatoimisten metsänomistajien puunkorjuussa.
- No 689 Nöjd, Pekka, Mälkönen, Eino & Kukkola, Mikko: Lehtikuusen lannoituskokeiden tuloksia.  
Growth response of *Larix* to fertilization.
- No 690 Metsätalastollinen vuosikirja 1986.  
Yearbook of Forest Statistics 1986.
- No 691 Ritari, Aulis: Lumipeitteen sulamisen riippuvuus eräistä metsikkö- ja kasvupaikatunnuksista Kivalon tutkimusalueella.  
Ablation of late snowcover in relation to some stand and site characteristics in Kivalo, northern Finland.
- No 692 Sirén, Matti, Ala-Ilomäki, Jari & Högnäs, Tore: Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus.  
Mobility of forwarding vehicles used in thinnings.
- No 693 Löfström, Irja (toim.): Taajamametsien hoito.  
Urban forestry.
- No 694 Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan mittaus kuormaotantamenetelmällä.  
Measurement of moisture content and dry weight of forest chips by load sampling methods.
- No 695 Poteri, Marja, Heikkilä, Risto & Yuan-Yi, Liu: Peltoluteen aiheuttaman kasvuhäiriön kehittyminen yksivuotiailla männyntaimilla.  
Development of the growth disturbance caused by *Lygus rugulipennis* in one-year-old pine seedlings.
- No 696 Saarenmaa, Hannu: Tuhohyönteisten ja sinistymän esiintyminen myrskyn kaatamissa puissa Lapissa 1983—86.  
Insect attack and blue stain in windthrown trees in Lapland 1983—86.
- No 697 Aarne, Martti: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1985.  
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1985, by districts.
- No 698 Ihalainen, Ritva: Nainen metsänhoitajana.  
Woman as a forester in Finland.
- No 699 Laiho, Olavi, Sarjala, Tytti, Hyvärinen, Riitta & Rautiainen, Lea: Lannoituksen vaikutus männikön mykorritsoihin.  
Effect of fertilization on mycorrhizae in pine stands.
- No 700 Salonen, Tommi (toim.-ed.): Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1986.  
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1986.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

*Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.*

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341