

FOLIA FORESTALIA 609

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

TARJA LEHTO

KALKITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN
MYKORITSOIHIN

THE EFFECT OF LIMING ON THE
MYCORRHIZAE OF SCOTS PINE



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

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 yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita 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 nine 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 609

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Tarja Lehto

KALKITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN MYKORITSOIHIN

The effect of liming on the mycorrhizae
of Scots pine

Approved on 28.12.1984

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
2.1. Koealat ja niiden puusto	4
2.2. Maanäytteet	4
2.3. Juurinäytteet ja juurten luokitus	5
2.4. Leikkeet	7
2.5. Sienirihmasto	10
3. TULOKSET	10
3.1. Maan ravinnepitoisuus	10
3.2. Mykoritsojen määrä ja jakauma	10
3.3. Mykoritsojen sisärakenne	13
3.4. Sienirihmasto	15
4. TULOSTEN TARKASTELU	15
4.1. Luotettavuustarkastelu	15
4.2. Ravinteiden käyttökelpoisuus ja mykoritsat	16
4.3. Mykoritsasuhteiden muutokset	16
TIIVISTELMÄ	18
LÄHDELUETTELO	18
SUMMARY	20

LEHTO, T. 1984. Kalkituksen vaikutus männyn mykoritsoihin. Summary: The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine. *Folia For.* 609:1—20.

Kalkituksen ja typpilannoituksen vaikutusta humuksen pintakerrokseen (0—1 cm) tutkittiin 20 v. kalkituksen (2000 kg/ha) jälkeen neljästä lannoituskoosteesta otetuista näytteistä (käsitellyt: O, typpi, kalkitus, typpi+kalkitus). Kalkitus lisäsi juurten kuivapainoa. *Cenococcum graniformen* muodostaman D-mykoritsan osuus juurenkärkien lukumäärästä lisääntyi 12 %:sta 30 %:iin ja muiden ulkoista rihmastoja muodostavien mykoritsojen 9 %:sta 17 %:iin. Vastaavasti A-mykoritsan osuus pieneni. Typpilannoitus lisäsi dikotomisesti haarautuneiden juurenkärkien ja ”hyvän” A-mykoritsan osuutta.

The effect of liming and nitrogen fertilization on the 0—1 cm layer of the humus was examined 20 years after liming (2000 kg/ha) from samples taken from four fertilization experiments (treatments: O, nitrogen, lime, nitrogen+lime). Liming increased the dry weight of short roots. The proportion of D-mycorrhizae (*Cenococcum graniforme*) increased from 12 % of the total number of root tips to 30 % and the proportion of other mycorrhizae forming external mycelium from 9 % to 17 % while the percentage of A-mycorrhizae decreased. Nitrogen fertilization increased the proportion of dichotomously branched root tips and ”good” A-mycorrhizae.

ODC 181.351+114.267+237.4
ISBN 951-40-0683-6
ISSN 0015-5543

Helsinki 1985. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Keski-Euroopan metsissä kalkkia on käytetty jo pitkään maanparannusaineena. Yleensä metsämaata on kalkittu muiden toimenpiteiden, erityisesti muokkauksen yhteydessä. Metsämaiden kalkitusta jatkettiin pitkään ilman puuston kasvua koskevia tutkimustuloksia, kunnes 1950-luvulla todettiin, että kalkitus parantaa kasvua vain sellaisilla mailla, joilla humus on kangasmul-taa (saks. Moder), ja humuksessa on tyypeä vähintään 2 % (Tamm 1974).

Ensimmäiset metsämaan kalkituskokeet perustettiin Suomessa jo 1910-luvulla. Näillä kokeilla VT-männiköiden tilavuuskasvu lisääntyi huomattavasti, kun kalkkikivijauhetta annettiin 1 500 kg/ha (Viro 1958, 1962). Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosasto perusti 1950-luvulla suuren määrän lannoituskokeita, joilla kalkitus oli yhtenä koejäsenenä. Tähän mennessä esitettyjen tulosten mukaan kalkki joko ei ole vaikuttanut puuston kasvuun tai on vähentänyt sitä (Viro 1967). Ruotsissa (Tamm 1974) ja Pohjois-Irlannissa (Adams ym. 1978) on saatu samansuuntaisia tuloksia, kun kalkkikivijauhetta on käytetty 5 000 ja 10 000 kg/ha.

Kalkitus saattaa tulla kysymykseen myös happaman laskeuman vaikutusten lieventämiseksi, mikä on lisännyt mielenkiintoa kalkitusta kohtaan. Happamoitumisen torjumiseen tarvittava kalkkimäärä ei olisi kovin suuri (Tamm 1974).

Useimpien ravinteiden saatavuus riippuu maan happamuudesta. Boori, mangaani, sinkki ja kupari ovat käyttökelpoisia metsämaan tavallisissa happamuusasteissa, mutta sitoutuvat kemiallisesti, jos pH nousee liian korkeaksi. Fosfori puolestaan sitoutuu happamassa rauta- ja alumiiniyhdisteisiin. Kasvien kannalta fosforin saatavuus on parhaimmillaan pH-alueella 5—6 (Mengel ja Kirkby 1982).

Typhen mobilisaation nopeutuminen on tärkeimpiä kalkituksen vaikutuksista. Pelto- ja metsämaissa käyttökelpoisen typhen määrä on kalkituksen vaikutuksesta kasvanut, ja se on suureksi osaksi nitraattimuodossa. Met-

sämaassa tilanne on monimutkaisempi, eikä kalkin vaikutusta mineraalityypen määrään ja muotoon tunneta tarkasti. Kalkitus saattaa edistää typhen mobilisaatiota B-horisontissa, mutta ehkäistä sitä humuskerroksessa, jossa typpivarastot pääosin sijaitsevat (Tamm ja Pettersson 1969). Kalkki edistää ammoniumtyypen sitoutumista orgaaniseen muotoon humuskerroksessa (Nömmik 1968).

Keskieurooppalaisten kalkkimaiden humukseen (pH 7—8) on kerääntynyt mikrobiotoimintaa vastaan erittäin kestäviä humiineja. Ammonifikaatio on kalkkimailla vähäisempää kuin happamilla mailla, mutta nitrifikaatio on molemmilla samaa suuruusluokkaa (Le Tacon 1978). Hesselman (1937) totesi laboratorioskokeissa kalkituksen aiheuttavan nitrifikaatiota nuorissa kuusikoissa, mutta ei vanhoissa. Viron (1962) vastaavalaissa kokeissa nitraattityypen määrä lisääntyi tuoreen kankaan humuksessa suhteellisesti enemmän kuin lehtomaisen ja kuivahkon kankaan näytteissä.

Lievä typhen puute edistää mykoritsanmuodostusta, ja voimakas mykoritsanmuodostus edellyttää, että hiilihydraattien synteesi ylittää niiden käytön. Jos fotosynteesiä rajoittaa ravinteiden tai valon puute, tilanne on sienelle epäedullinen (esim. Hacs-kaylo 1973). Kalkitus vaikuttaa mineraalityypen esiintymiseen maassa, joten on mahdollista, että kalkitus ehkäisee mykoritsanmuodostusta. pH:n nouseminen vaikuttaa mykoritsoihin pääasiassa typhen mobilisaation lisääntymisen kautta. Richardsin (1965) kokeissa, joissa pH:ta nostettiin aina pH 7,2 asti ilman että nitraattityypen määrä lisääntyi, pH:n nousu ei rajoittanut mykoritsanmuodostusta.

Typpilannoitus vaikuttaa voimakkaasti metsämaan sienten määrään ja ekologisten ryhmien suhteisiin. Laihon (1970) mukaan lannoitus vaikuttaa edullisesti joihinkin mykoritsanmuodostajiin, esimerkiksi pulkkosieneen (*Paxillus involutus*). Yleensä kuitenkin hajottajasienten määrä ja elinvoimaisuus lisääntyy, kun taas symbiontit taantuu-

vat typpilannoituksen ja kalkituksen yhteydessä (Ritter ja Tölle 1978, Fiedler ja Hunger 1963).

Kalsiumkarbonaatilla on moniin puulajiin suorastaan haitallinen vaikutus, ja kasvilajit voidaan jakaa kalkkia sietäviin ja sille herkkiin. Keski-Euroopassa mustamännyn (*Pinus nigra nigricans*) on osoitettu menestyvän kalkkimailta mykoritsarakenteensa ansiosta. Steriilillä, kalkkipitoisella alustalla kasvatetut mustamännyn taimet kärsivät kloroosista eivätkä ne pysty käyttämään nitraattityyppiä hyväkseen yhtä hyvin kuin mykoritsalliset taimet. Myös ammoniumtyyppien assimilaatio vaikeutuu mykoritsojen puuttuessa (Le Tacon 1978).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on

selvittää kalkituksen vaikutusta männyn mykoritsojen määrään, morfologiaan ja eri mykoritsaryhmien suhteisiin. Koska kalkitus on läheisesti yhteydessä maan typpitalouteen, tarkastellaan myös typpilannoituksen vaikutuksia.

Tutkimus on tehty pro gradu -työnä Metsäntutkimuslaitoksessa. Työtä ohjasivat prof. Eino Mälkönen ja MMT Olavi Laiho. Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö rahoitti työn loppuvaihetta. Laboratorio-työskentelyssä neuvoivat FM Hannu Raitio ja fil.yo Ilari Lumme. LuK Marja Huotari ohjasi aineiston käsittelyssä, ja mh Mikko Kukkola käsitteli puustoa koskevat tiedot. Puhtaaksikirjoituksesta huolehti tsto-siht. Pirkko Rättö.

Prof. Matti Leikola, prof. Eino Mälkönen ja MMT Olavi Laiho lukivat käsikirjoituksen, ja toht. Michael Starr tarkisti englanninkieliset tekstit.

Parhaat kiitokset kaikille, jotka auttoivat tutkimuksen toteuttamisessa.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Koealat ja niiden puusto

Tutkimusaineisto koottiin Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston neljältä faktoriaaliselta lannoituskokeelta. Tarkasteluun otettiin mukaan seuraavat käsittelyt:

- kontrolli (0)
- typpilannoitus (N)
- kalkitus (Ca)
- kalkitus ja typpilannoitus (NCa).

Koealan koko oli 30 × 30 tai 40 × 40 m. Kokeita perustettaessa kalkkikivijauhetta oli annettu 2 000 kg/ha. Kahdella kokeella (kokeet 53 ja 68) kalkkikivijauhetta oli lisätty n. 20 vuotta myöhemmin 4 000 kg/ha. Kalkin tasoja merkittiin aluksi seuraavasti: 0 = ei kalkitusta, 2 = 2 000 kg/ha, 6 = yhteensä 6 000 kg/ha. Laskentavaiheessa tasot 2 ja 6 yhdistettiin toisiinsa tasoksi 1 (=kalkittu).

Tyyppiä oli annettu useita kertoja eri muodoissa: ammoniumsulfaattina, ureana ja oulunsalpietarina. Tyyppien tasoja merkittiin seuraavasti: 0 = ei typpilannoitusta, 1 = typpilannoitettu.

Kaikki koemetsiköt olivat puolukkatyyppin männiköitä. Taulukossa 1 on esitetty yleistietoja puustosta kokeen perustamisajankohdasta ja kuvassa 1 puuston tilavuuskasvu perustamisvuodesta viimeksi suoritettuun mittaukseen asti. Kuvassa 1 selviävät myös lannoitusajat ja lannoitemäärät.

Kasvu on ollut kalkituilla koealoilla yleensä hiukan pienempi kuin käsittelemättömillä, eikä typpilannoitus kalkituksen ohella ole lisännyt kasvua yhtä paljon kuin pelkkä typpilannoitus.

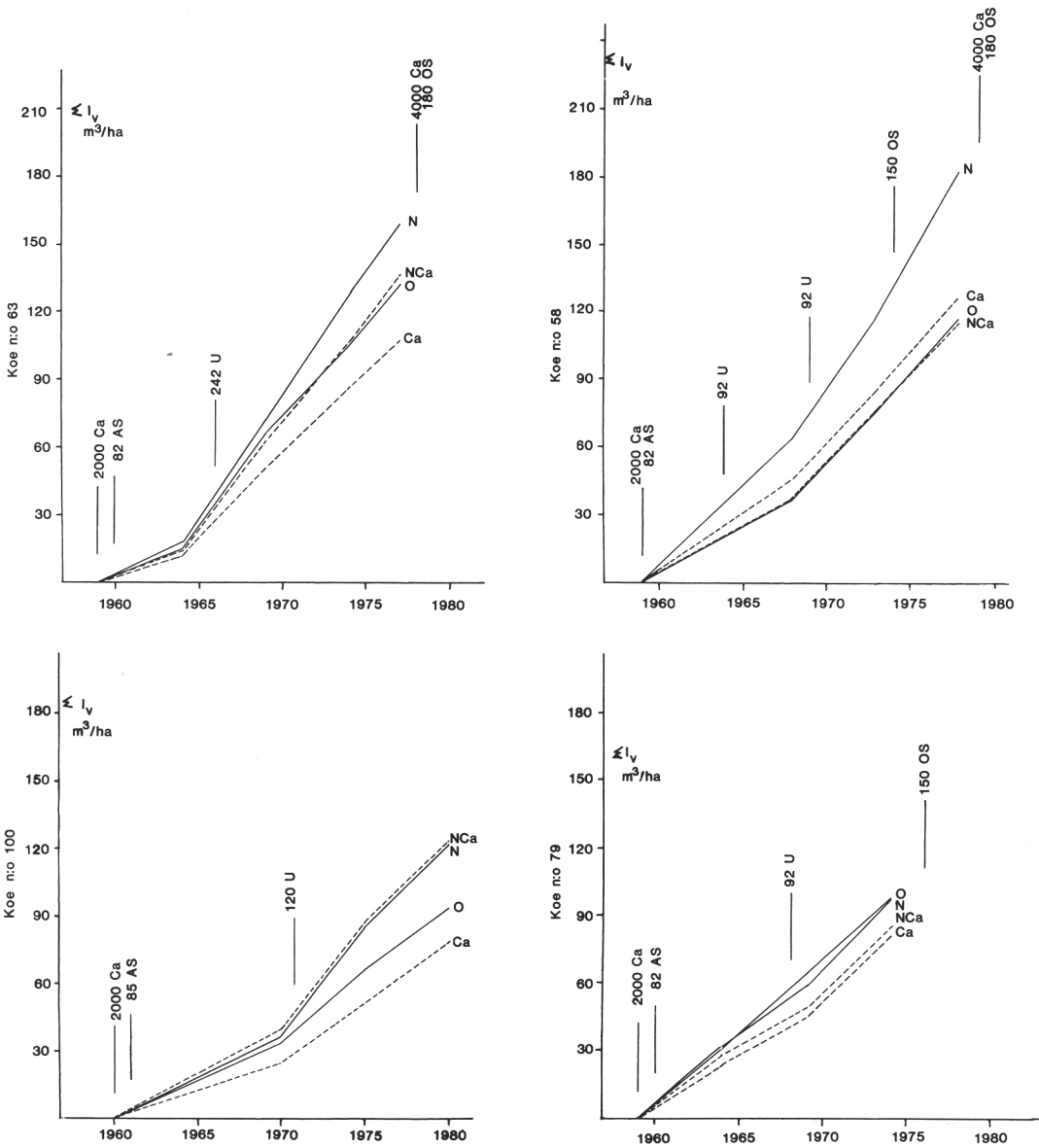
2.2. Maanäytteet

Juurten tarkastelua ja maa-analyyssejä varten otettiin kultakin koealalta 15 humusnäytettä metallisylinterillä, jonka läpimitta oli 60 mm. Näytteet otettiin koealoilta systemaattisesti lokakuussa 1980, ja niitä säilytettiin pakastimessa kevääseen 1982 asti.

Näytteistä poistettiin ensin sammalet ja karikkeet. Koska kalkituksen vaikutus on voimakkain aivan maan pintakerroksessa ja koska elinvoimaiset mykoritsat ovat keskittyneet humuskerroksen yläosiin, näytteistä käytettiin vain 1 cm paksuinen pintaviipale. Tästä otettiin 1/4 juurten tarkastelua varten. Juuri-näyte edustaa siis 7,1 cm³ humusta. Humusnäytteistä jäljelle jääneet osat yhdistettiin koealoittain muita määrittäviä varten.

Humusnäytteistä mitattiin pH (CaCl₂) ja tehtiin seuraavat määritykset: Kokonaistyyppi Kjeldahl-menetelmällä; 2 M suolahappoon uuttuva fosfori, kupari ja sinkki (Westman 1979); happamaan ammoniumaseatttiin uuttuva fosfori, kalium, kalsium ja magnesium sekä boori (Halonen ja Tulkki 1981).

Taulukossa 2 esitetyt vaihtuvien ravinteiden pitoisuudet on määritetty vuosina 1978 ja 1980 otetuista näytteistä, jotka edustivat koko humuskerrosta. Myös kokeiden 53 ja 68 ravinnetilanne ennen uusintakalkitusta käy ilmi taulukosta 2. Humuksen pH oli kalkkikoealoilla lähellä kontrollikoealojen tasoa.



Kuva 1. Puuston kokonaiskasvu kokeen perustamisesta lähtien sekä lannoitusajat ja -määrät.

Ca=kalkkikivijauhetta kg/ha

OS=typpeä kg/ha (oulunsalpietari)

U=typpeä kg/ha (urea)

AS=typpeä kg/ha (ammoniumsulfaatti)

Fig. 1. Total volume increment of the stands after the first fertilization. Fertilizer applications:

Ca=calcium carbonate kg/ha

OS=nitrogen kg/ha (ammonium nitrate)

U=nitrogen kg/ha (urea)

AS=nitrogen kg/ha (ammonium sulphate)

2.3. Juurinäytteet ja juurten luokitus

Humusnäyte (7,1 cm³) hajotettiin vedessä ja siitä poimittiin pinseteillä kaikki puunjuuret. Näytteitä tarkasteltiin preparoimismikroskoopin avulla suurennuksin 6,4X ja 16,0X. Näytteistä laskettiin juurenkärkien

lukumäärä, jota pidetään hyvänä tunnuksena lyhytjuuriston kokonaismäärälle. Koska laskenta on työlästä, se tehtiin vain neljäsosasta näytteistä. Muista lukumäärät arvioitiin laskettujen näytteiden avulla.

Aluksi laskettiin tai arvioitiin dikotomisesti haarautuneiden juurten, "gabel-mykoritsojen" (G, kuva 2)

Taulukko 1. Yleistietoja puustosta kokeiden perustamisvuonna

Table 1. Some general information about the stands at the beginning of the experiment.

Koe Experi- ment	Sijainti Location	Metsä- tyyppi Forest site type	Perustamis- vuosi Year	Lannoitus ¹⁾ Fertilization		Puuston ikä, v Stand age a	Valta- pituus, m Dominat height, m	Pohjapinta- ala, m ² /ha Basal area m ² /ha	Runkotila- vuus, m ³ /ha Stem volume, m ³ /ha
				N	Ca				
53	Vilppula	VT	1959	0	0	7	2,1	0,22	0,9
				1	0		2,4	0,54	1,6
				0	6		2,6	0,66	2,0
				1	6		2,3	0,17	0,8
68	Juva	VT	1959	0	0	35	12,6	11,61	61,0
				1	0		9,8	11,05	47,2
				0	6		9,2	10,45	45,5
				1	6		8,0	7,58	29,3
79	Pylkönmäki	VT	1959	0	0	25	11,8	13,91	71,9
				1	0		10,4	10,33	48,5
				0	2		10,6	10,60	50,1
				1	2		9,8	8,69	39,4
100	Kuru	VT	1960	0	0	9	2,0	0,69	2,5
				1	0		2,0	0,68	2,3
				0	2		1,8	0,37	1,7
				1	2		2,1	0,69	2,3

1) Lyhenteet: N = typpilannoitus, Ca = kalkitus
 0 ei tyypeä
 1 typpilannoitus
 0 ei kalkkia
 2 2 000 kg/ha
 6 yhteensä 6 000 kg/ha

Abbreviations: N = nitrogen, Ca = lime.
 0 not applied
 1 N applied
 0 not applied
 2 2 000 kg/ha
 6 6 000 kg/ha

Taulukko 2. Humuskerroksen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Ravinnemäärät on laskettu orgaanisen aineksen painoyksikköä kohti.

Table 2. Some physical and chemical properties of the humus layer. Nutrient contents given per unit weight of organic matter.

Vuosi Year	Koe Experiment	Käsitellyt N Ca Treatment N Ca		Humuskerroksen paksuus, cm v. 1983 Thickness of humus layer, cm in 1983	Hehkutus- kevennys % Loss on ignition %	pH (KCl)	P mg/100 g	Ca mg/100 g	K mg/100 g	Mg mg/100 g
1978	53	0	0	8,1	78	3,0	14,7	503	81,5	40,0
		1	0	7,8	75	2,9	22,9	394	75,6	46,4
		0	2	5,0	70	3,7	27,7	770	107,6	27,7
		1	2	8,7	73	3,5	17,0	849	67,9	44,7
1978	68	0	0	3,9	53	2,9	27,1	263	161,9	32,2
		1	0	4,9	65	2,8	18,5	257	95,2	23,2
		0	2	3,8	59	4,0	25,6	1044	106,9	67,6
		1	2	4,8	61	3,4	14,8	469	77,7	32,2
1980	68	0	0		48	2,8	24,8	244	114,0	25,6
		1	0		62	2,8	15,5	242	73,9	35,8
		0	6		50	5,0	19,6	1816	87,4	102,6
		1	6		61	4,8	15,7	1708	72,0	87,2
1980	100	0	0	2,7	72	2,9	11,5	269	72,7	30,8
		1	0	3,9	80	2,9	18,5	288	72,4	23,3
		0	2	4,7	68	3,6	14,6	832	71,9	38,7
		1	2	3,1	60	4,0	14,7	947	89,0	34,2
	79	0	0	2,8						
		1	0	3,5						
		0	2	3,3						
		1	2	3,6						

1) Lyhenteet, ks. taulukko 1.
 1) Abbreviations, see table 1.

osuus. Sienen aiheuttama kahtia haarautuminen on tyyppillistä männylle, ja sitä pidetään kohtalaisen hyvänä tunnukseksi infektion voimakkuudelle.

Lyhytjuuret luokiteltiin käyttäen Melinin (1927) esittämää ja Mikolan ja Laihon (1962) mukaillemaa järjestelmää:

A_H , "hyvät" *A-mykoritsat* (kuva 2) vastaavat Melinin A- ja B- mykoritsoja, kuitenkin niin, että tähän luokkaan kuuluvat hyvin kehittyneet paksut, vaaleat ja sileät mykoritsat. Pituuskasvu on estynyt.

A_M , muut *A-mykoritsat* (kuva 3). Tähän ryhmään kuuluvat muut A- ja B-mykoritsat, "keskinkertaiset". Pituuskasvu on voimakkaampaa, ja juuret ovat ohuempia kuin A_H -luokassa.

D-mykoritsat (kuva 4) jaettiin aluksi kahteen luokkaan, D_N ja D_A . D_N -mykoritsaa muodostaa vaillinais-sieniin kuuluva *Cenococcum graniforme* (Sow.) Ferd. & Winge (*C. geophilum* Fr.). Vaippa on musta, paksu, ja sieni muodostaa runsaasti karkeitä rihmoja vaipan ulkopuolelle. D_A on musta, mutta sileä, eikä sillä ole vaipan ulkopuolista rihmastoa. D_A -mykoritsa on sekundäärinen muodostuma, jossa tumma sieni on kasvanut vaalean sienen muodostaman vaipan päälle. Koska D_A -mykoritsaa esiintyi vain pienessä osassa näytteitä eikä sen määrittäminen aina ollut varmaotteista, se yhdistettiin laskentavaiheessa D_N -luokkaan.

C-mykoritsaa (kuva 5) muodostavat *Boletus*-lajit, ja se on tyyppillinen männylle. Lyhytjuurten haaroittuminen on erittäin voimakasta, haarat ovat poikkeuksellisen lyhyitä, ja vaippa muodostuu yhteisenä jopa kymmenille kärjille.

K-mykoritsa (kuva 6) on kirkkaan keltainen, ja siinä on runsaasti keltaisia ritsomorfeja. Sitä muodostaa kantasiiniin kuuluva *Corticium bicolor* Peck.

"*R-mykoritsat*", muut ulkoista rihmastoa muodostavat (kuva 7), ovat "hyviä" tai "keskinkertaisia" mykoritsoja, joiden vaipasta lähtee irrallista rihmastoa tai rihmastojänteitä. Kolmasosa näytteistä luokiteltiin tarkemmin siten, että erotettiin toisistaan hyvät ja muut *R-mykoritsat* (R_H ja R_M).

Pseudomykoritsat sekä huonokuntoiset ja kuolleet mykoritsat (kuva 8) yhdistettiin luokaksi "PS", koska niitä on hyvin vaikea erottaa ulkopuolelta toisistaan. *Pseudomykoritsat* ovat lyhytjuuria, joilla ei ole vaippaa eikä Hartigin verkkoa, mutta juuren kuorisoluissa on solunsisäinen infektio. Tämän luokan edustajat ovat tummia, ryppyisiä, usein ohuita, ja ne katkeilevat helposti.

Lopuksi määritettiin näytteiden kuivapaino (2 h 105 °C:ssa) ja hehkutuskevyys (2 h 550 °C:ssa). Ennen punnitsemista poistettiin suurimpia juurenkappaleita, joita pidettiin pitkäjuurina.

Joka neljänestä näytteestä laskettujen juurenkärkien lukumäärän perusteella määritettiin käsittelyittään suhde

$$\frac{\Sigma (\text{juurenkärkien lukumäärä})}{\Sigma (\text{näytteen kuivapaino})}$$

ja saatiin seuraavat kertoimet:

Käsittely	Kerroin kpl/mg
O	5,7
N	7,4
Ca	5,3
NCA	5,0

Tietyn mykoritsaluokan osuutta näytteessä ilmaiseva prosenttiluku saatiin muutetuksi näytteen kuivapainon ja kertoimen avulla juurenkärkien lukumääräksi:

$$\% \text{-luku} / 100 \times \text{näytteen kuivapaino (mg)} \times \text{kerroin (kpl/mg)}$$

Laskennassa käytettiin rinnakkain alkuperäisiä suhteellisia ja laskettuja lukumääräisiä arvoja, koska molemmilla tavoilla on virhelähteitä.

Aineiston tilastolliseen käsittelyyn käytettiin varianssianalyysia. Laskennassa pyrittiin saamaan esiin toisaalta kalkin ja typen vaikutus ja toisaalta niiden yhdysvaikutus. Kalkin eri tasojen erot testattiin Sheffin testillä.

2.4. Leikkeet

Luokituksen tarkistusta ja lyhytjuurten sisärakenteen mikroskopointia varten juurenkärjistä tehtiin paraffiini-leikkeitä. Tätä varten luokista A_H , A_M , D ja PS valittiin 1—5 edustavaa kärkeä koealaa kohti. Fiksatiivina käytettiin FAA:ta^x ja leikkeet värjättiin safraaniinilla ja fast green -väriä (esim. Hohtola 1982). Leikkeitä tarkasteltiin mikroskoopilla suurennuksin 200× ja 300×. Lyhytjuuri jätettiin aikaisemmin määritettyyn luokkaan, jos seuraavat ehdot olivat voimassa:

- A_H : suhteellisen paksu vaippa, kuoressa paksuntuoneet soluseinät tai Hartigin verkko
- A_M : ehjä vaippa ja mahdollisesti Hartigin verkko
- D: tyyppillinen hiilenmusta vaippa
- PS: vaippaa ei ole tai se on ohut ja repaleinen, yleensä ei Hartigin verkkoa.

Lyhytjuuri siirrettiin luokasta toiseen, jos määrittämisvirhe oli ilmeinen. Esimerkiksi tyyppillinen musta vaippa muussa kuin D-mykoritsassa aiheutti siirron, samoin ehjä vaippa ja Hartigin verkko PS-luokan juuressa tai näiden puuttuminen A_H -luokassa. Silmävaraisesti määritetty luokitus piti sisärakenteen perusteella niin hyvin paikkansa, ettei pidetty tarpeellisenä korjata luokituksen tuloksia.

Hartigin verkon ja solunsisäisen infektion esiintymisestä tehtiin havaintoja. Solunsisäisenä infektiona pidettiin siniseksi värjäytyneitä rihmoja kuorikerroksen soluissa.

Ravinteisuustunnusten ja juurista mitattujen tunnusten välistä yhteyttä selvitettiin valikoivalla regressioanalyysillä. Selittävinä muuttujina olivat humuksen typpi-, kalsium-, kalsium-, fosfori- ja booripitoisuudet ja selitettävänä A_M - ja D-mykoritsoista mitatut juuren läpimitat ja vaipan paksuudet. A_M - ja D-mykoritsat valittiin tarkasteluun siksi, että niiden osuudet olivat muuttuneet kalkituksen vaikutuksesta enemmän kuin A_H - ja PS-mykoritsojen osuudet. Regressio-kerrointen merkitsevyydet testattiin t-testillä. Laskennassa käytettiin BMDP-kirjasto-ohjelmaa.

^xFAA: 90 til. % 70 % etanolia
5 til. % jäätikkää
5 til. % 1 % formaldehydiä



Kuva 2. "Hyviä" A-mykoritsoja (A_H).
Fig. 2. "Good" A-mycorrhiza (A_H).



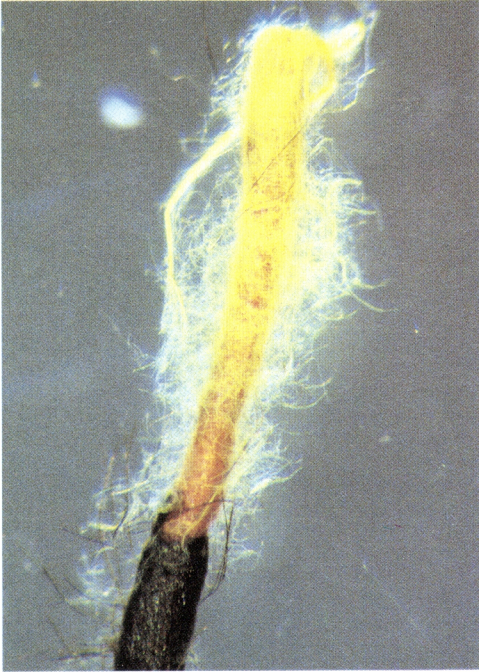
Kuva 3. "Muita" A-mykoritsoja (A_M).
Fig. 3. "Other" A-mycorrhiza (A_M).



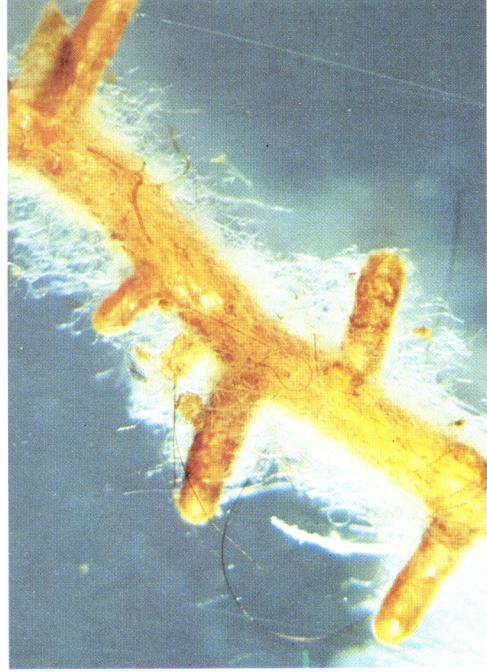
Kuva 4. D-mykoritsoja
Fig. 4. D-mycorrhiza



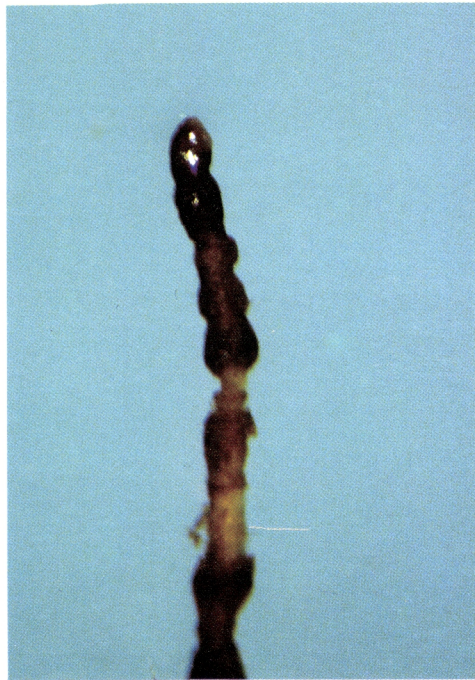
Kuva 5. C-mykoritsoja
Fig. 5. C-mycorrhiza



Kuva 6. K-mykoritsoja
Fig. 6. *K-mycorrhiza*



Kuva 7. Ulkoista rihmastoja muodostavia mykoritsoja (R).
Fig. 7. *Mycorrhizae forming external mycelium (R)*.



Kuva 8. Vanhoja mykoritsoja (PS).
Fig. 8. *Old mycorrhiza (PS)*.

2.5. Sienirihmasto

Maassa olevan sienirihmaston määrää pyrittiin selvittämään humus-vesi -suspensiosta valmistettujen preparaattien avulla. 10 g suuruinen humusnäyte homogenisoitiin ja sekoitettiin 1000 ml:aan vettä. Suspensiosta pipetoitiin 5 ml suodatinpaperille. Samalla lisättiin metyleenisinistä, joka värjää sienirihmaston siniseksi. Preparaatteja valmistettiin neljä jokaiselta koelohjalta. Kustakin preparaataista tarkasteltiin viittä näkökenttää 320-kertaisella suurennuksella ja laskettiin näkyvien hyyfien yhteispituus mikrometrin avulla (Sundman ja Sivelä 1978).

Hyyfisydellä ilmaistaan juurinäytteessä olevan, juuriin liittyvän sienirihmaston suhteellista määrää. Hyyfisyteen vaikuttaa toisaalta se, kuinka suuri osa juurista on rihmaston peitossa, toisaalta se, kuinka voimakasta rihmasto on. Määrittämisessä ei eritelty rihmasto sen järjestymisasteen mukaan. Bowen (1973)

erottaa toisistaan

- (1) yksittäiset hyyfit (engl. individual hyphae)
- (2) hyyfikimput (mycelial strands)
- (3) ritsomorfit (rhizomorphs).

Järjestymisasteella on merkitystä puiden ravinteidenoton kannalta, sillä järjestynyt rihmasto pystyy kuljettamaan ravinteita kauempaa kuin yksittäiset hyyfit (Skinner ja Bowen 1974).

Hyyfisyys määritettiin silmävaraisesti asteikolla 0—3 seuraavasti:

- 0: Juuret kaljuja
- 1: Huomattavasti alle puolet näytteistä hennon rihmaston peitossa
- 2: Noin puolessa juurista rihmasto
- 3: Voimakas rihmasto lähes kaikissa juurenkappaleissa.

3. TULOKSET

3.1. Maan ravinnepitoisuus

Taulukossa 3 esitetyt maa-analyysien tulokset on laskettu näytteen orgaanisen aineksen painoyksikköä kohti. Humuksen pH oli noussut kalkituksen vaikutuksesta jopa 5,6:een, kun käsittelemättömillä ja pelkkää tyyppiä saaneilla koelohjoilla arvot vaihtelivat välillä 3,1 — 3,4. Yhteen kertaan kalkittujen koelohjojen happamuus oli lähellä alkuperäistä tasoa.

Kokonaistypen määrä oli yleensä suurin tyyppiä saaneilla koelohjoilla, mutta kokeella n:o 100 lannoituksen vaikutus ei enää ollut havaittavissa. Tämän kokeen viimeisestä lannoituskerrasta oli kulunut yhdeksän vuotta, kun taas muita kokeita oli lannoitettu myöhemmin (kuva 1).

Kalkitus kohotti kalsiumin määrän 2—20-kertaiseksi kontrolliin verrattuna. Myös kertaalleen kalkituilla koelohjoilla vaikutus ilmeni selvästi. Vaihtuvan magnesiumin ja kokonaisboorin määrät lisääntyivät kalkituksen vuoksi, mutta muiden ravinteiden pitoisuuksissa ei voida nähdä säännöllisiä muutoksia. Määritetyt fosforipitoisuudet olivat eri suuruusluokkaa kuin aikaisemmin saadut (vrt. taulukko 2). Suolahapolla uutamalla saadut tulokset olivat noin kaksinkertaisia verrattuna liukoisen fosforin määrittäytuloksiin.

3.2. Mykoritsojen määrä ja jakauma

Mykoritsaluokkien esiintymisfrekvenssi ilmaisee, kuinka monessa näytteessä kutakin tyyppiä esiintyi (taulukko 4). D-mykoritsojen esiintymistiheys oli suurempi kalkituilla koelohjoilla kuin kalkitsemattomilla, K-mykoritsojen taas pienempi. Dikotomisesti haaratuneita juuria oli jokaisessa näytteessä.

Kalkitustasojen 0, 2 ja 6 erot testattiin aluksi ottamatta typpilannoituksen vaikutusta huomioon. Aineisto jaettiin kahteen osaan sen mukaan, oliko tyyppiä annettu vai ei. Mykoritsaluokkien keskiarvot ja riskitasot näiden eroille Sheffen testin mukaan on esi-

Taulukko 4. Mykoritsaluokkien esiintymisfrekvenssit eri lannoituskäsittelyissä. Niiden näytteiden osuus (% näytteiden lukumäärästä), joissa esiintyi ainakin yksi luokan edustaja.

0=lannoittamaton, N=typpilannoitus, Ca=kalkitus
Table 4. Frequency of mycorrhizal types. The values represent the percentage of samples in which each type was present.

0=control, N=nitrogen fertilization, Ca=liming

Käsittely Treatment	A _H	A _M	D	C	K	R	PS
0	57	98	78	7	33	62	93
N	68	100	72	8	28	60	85
Ca	42	98	95	7	13	93	92
NCa	53	90	97	3	17	77	82

Taulukko 3. Maa-analyysien tulokset humuskerroksen ylimmästä senttimetristä. Ravinnemäärät on laskettu orgaanisen aineksen painoyksikköä kohti.

Table 3. Chemical analysis of the 0-1 cm humus layer samples. Nutrient contents given per unit weight organic matter.

Koe	Käsittely	Kuiva- aine %	Hehkutus- kevenn. %	pH (CaCl ₂)
Experi- ment	Treatment N _{Ca} ¹⁾	Dry weight %	loss on ignition %	
53	00	27	95	3,2
	10	32	67	3,4
	06	38	75	4,9
	16	30	90	4,6
68	00	27	79	3,2
	10	21	86	3,4
	06	32	64	5,6
	16	29	67	5,6
79	00	24	89	3,3
	10	29	90	3,3
	02	30	45	3,6
	12	39	53	3,7
100	00	18	67	3,1
	10	22	80	3,2
	02	21	86	3,4
	12	29	63	4,6

Koe	Käsit- tely	Kokonais- typpi	K (NH ₄ Ac)	Ca (NH ₄ Ac)	Mg (NH ₄ Ac)	P (NH ₄ Ac)	P (2NHCl)	B	Cu (2NHCl)	Zn (2NHCl)
Experi- ment	Treat- ment N _{Ca}	Total nitrogen	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g	mg/100g	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g
53	00	1,59	45,8	110,5	37,9	0,053	0,11	0,28	2,08	6,42
	10	2,04	56,0	156,7	76,1	0,058	0,12	0,42	2,16	9,10
	06	1,59	42,0	720,0	140,0	0,079	0,16	0,49	2,04	16,67
	16	1,76	26,7	666,7	150,0	0,048	0,09	0,48	1,64	9,44
68	00	1,56	66,4	107,1	42,9	0,091	0,17	0,46	1,86	11,43
	10	1,59	38,4	122,1	55,8	0,052	0,10	0,35	2,01	9,42
	06	1,48	37,5	2226,6	196,9	0,063	0,17	0,58	1,84	16,56
	16	2,93	22,4	2126,9	197,0	0,064	0,16	0,69	2,13	12,24
79	00	1,30	42,1	101,1	33,7	0,070	0,13	0,24	1,40	8,65
	10	1,56	41,7	100,0	31,7	0,054	0,13	0,27	1,44	9,22
	02	1,87	53,3	266,7	100,0	0,078	0,20	0,38	4,07	15,33
	12	2,85	39,6	198,1	39,6	0,051	0,13	0,30	1,70	7,74
100	00	1,94	67,2	111,9	56,0	0,066	0,19	0,37	2,81	13,58
	10	1,58	58,1	131,3	56,3	0,050	0,14	0,33	2,25	14,38
	02	1,22	45,3	279,1	43,6	0,059	0,13	0,43	2,01	16,28
	12	1,73	42,9	1142,8	71,4	0,057	0,16	0,48	2,67	9,68

1) Lyhenteet: N = typpilannoitus, 0 ei typpeä
1 typpilannoitus
Ca = kalkitus 0 ei kalkkia
2 2 000 kg/ha
6 yhteensä 6 000 kg/ha

Abbreviations: N = nitrogen, 0 not applied
1 N applied
Ca = lime, 0 not applied
2 2 000 kg/ha
6 6 000 kg/ha

tetty taulukossa 5. Vaikka kalkituilla ja kal-
kitemattomilla koealoilla A_M- ja D-my-
koritsojen osuudet poikkeavat erittäin mer-
kitsevästi, eri kalkitustasoilla ei näytä olevan
merkitseviä eroja lukuunottamatta dikoto-
misen haarautumisen (G-mykoritsat) lievää
lisääntymistä. Tämän vuoksi tasot 2 ja 6
yhdistettiin, joten jatkossa sekä kalkilla että
typellä on taso 0 ja taso 1.

Taulukossa 6 esitetään mykoritsaluokkien

keskiarvot näytettä kohti suhteellisia ja lu-
kumääräisinä arvoina sekä varianssianalyy-
sin antamat merkitsevyydet keskiarvojen
eroamiselle. Tässä erotettiin luokasta R hy-
vät ja muut R-mykoritsat, joista on havain-
toja vain kolmanneksessa näytteistä.

Juurten kuivapainona ilmaistu määrä oli
jonkin verran suurempi kalkituilla koealoilla
kuin kalkitemattomilla. Eroa pienentää se,
että juurinäytteiden hehkutuskevennys oli

Taulukko 5. Kalkin eri tasojen vaikutus mykoritsaluokkien osuuksiin ja juurten kuivapainoon (humuksen tilavuusyksikköä kohti). Merkitsevyystestien tulokset.

Table 5. The effect of liming levels on numbers of root tips of different mycorrhizal types and dry root weight per soil volume. Results of significance tests between the liming levels are given below.

Käsittely ¹⁾ Treatment ¹⁾		Mykoritsaluokat ² — Mycorrhizal types ²⁾									Yhteensä Total	Kuivapaino mg/cm ³ Dry weight mg/cm ³
Ca	N	G	A _H	A _M	D	C	K	R	PS			
ylärivi %-osuus, alarivi kpl/cm ³ — above %, below root tips/cm ³												
0	0	44,9	3,2	60,5	11,6	1,8	0,4	8,5	13,5	99,5	6,8	
0	0		0,95	22,37	5,72	0,93	0,03	3,34	4,23	37,6		
2	0	35,0	2,2	42,5	30,8	0,5	0,2	15,4	7,1	98,7	9,6	
2	0		0,58	18,24	17,97	0,28	0,01	8,62	3,18	48,9		
6	0	48,0	5,2	34,1	36,4	0,2	0,2	18,6	5,3	100,0	8,5	
6	0		1,26	15,87	17,83	0,06	0,10	8,41	2,79	46,2		
0	1	56,3	5,5	58,9	12,1	3,1	0,2	9,8	10,5	100,1		
0	1		2,41	27,43	7,03	2,61	0,13	5,93	5,08	50,6	6,8	
2	1	40,0	3,5	35,0	36,7	1,8	0,7	16,5	6,6	100,8		
2	1		1,12	12,73	17,81	0,71	0,01	11,78	2,16	45,4	8,5	
6	1	54,9	5,8	36,0	30,2	0,0	0,0	18,3	8,8	99,1		
6	1		2,16	13,60	10,64	0,00	0,00	9,41	2,71	38,5	7,8	

		Merkitsevyys — Significance								
	N	G	A _H	A _M	D	C	K	R	PS	
Ca ₀ —Ca ₂	0	*		**						
Ca ₀ —Ca ₂	0				**			*		
Ca ₀ —Ca ₆	0			***	***			**		
Ca ₀ —Ca ₆	0				**			*		
Ca ₂ —Ca ₆	0	*								
Ca ₂ —Ca ₆	0									
Ca ₀ —Ca ₂	1	**		***	***					
Ca ₀ —Ca ₂	1			**	**					
Ca ₀ —Ca ₆	1			***	***					
Ca ₀ —Ca ₆	1			**	*					
Ca ₆ —Ca ₂	1	*								
Ca ₆ —Ca ₂	1									

* P < 5 %
** P < 1 %
*** P < 0,1 %

1) Lyhenteet: N = typpi, 0 ei tyyppeä
1 typpilann.
Ca = kalkki, 0 ei kalkkia
1 kalkitus

1) Abbreviations: N = nitrogen, 0 not applied
1 N applied
Ca = lime, 0 not applied
1 lime applied

2) Lyhenteet ks. sivu 7
Abbreviations see page 20

kalkituilla koaloilla pienempi (taulukko 7). Kalkitus lisäsi juurten hyöfisyttä voimakkaasti, ja rihmastosiin näytteisiin jäi enemmän epäpuhtauksia kuin sileisiin.

Tärkeimmät muutokset mykoritsaluokkien välisissä suhteissa olivat selviä, ja ne tulivat esiin molemmissa laskentatavoissa. D-mykoritsan osuus lisääntyi kalkituksen vaikutuksesta 10 %:sta 30 %:iin ja R-mykoritsan osuus 9 %:sta 17 %:iin. A_M-mykoritsan osuus väheni vastaavasti 60 %:sta alle 40

%:iin ja PS-mykoritsan osuus 13 %:sta 6 %:iin. Nämä erot kalkittujen ja kalkitsemattomien koalojen välillä olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. C- ja G-mykoritsojen väheneminen ei ollut yhtä yksiselitteistä.

Lukuunottamatta A_H- ja G-mykoritsoja ei typpilannoituksen vaikutus eikä kalkin ja typen yhdysvaikutus tullut merkitseväksi. A_H- ja G-mykoritsoja oli typeä saaneilla koaloilla eniten.

Taulukko 6. Kalkituksen ja typpilannoituksen vaikutus sekä niiden yhdysvaikutus mykoritsaluokkien osuuksiin. Merkitsevyydestien tulokset.

Table 6. The effect of liming and nitrogen fertilization on numbers of root tips of different mycorrhizal types. Interaction of nitrogen and lime. Results of significance tests between the treatments are given below.

Käsittely ¹⁾ Treatment ¹⁾		Mykoritsaluokat ²⁾ — Mycorrhizal types ²⁾										Yht. Total	Kuivapaino Dry weight mg/cm ³
N	Ca	G	A _H	A _M	D	PS	C	K	R	R _H	R _M		
Yläriivi %-osuus, alariivi kpl/cm ³ — above %, below root tips/cm ³													
0	0	44,9	3,2	60,5	11,6	13,4	1,8	0,4	8,5	0,9	8,7	99,4	
0	0		0,95	22,37	5,69	5,72	0,93	0,01	3,34			37,6	6,8
1	0	56,3	5,5	58,9	12,1	10,5	3,1	0,2	9,8	2,4	8,1	100,1	
1	0		2,40	27,30	7,00	7,03	2,61	0,12	5,93			50,4	6,8
0	1	41,5	3,7	38,3	33,6	6,2	0,4	1,0	17,0	1,3	14,2	100,2	
0	1		0,92	17,06	17,82	17,90	0,17	0,05	8,52			47,6	9,1
1	1	47,5	4,7	35,6	33,4	7,1	0,9	0,3	17,4	1,4	18,3	99,4	
1	1		1,64	13,17	14,17	14,23	0,35	0,01	8,12			40,0	8,1

Vaihtelun lähde Source of variation		Merkitsevyys — Significance										Kuivapaino Dry weight mg/cm ³
		G	A _H	A _M	D	PS	C	K	R	R _H	R _M	
N		**										
N			**									
Ca		*		***	***	***	**		***		*	
Ca				***	***	**	**		*			**
NCa				*								
NCa												

1) 2) Lyhenteet ks. taulukko 5
Abbreviations see Table 5

Taulukko 7. Juurinäytteiden hehkuskevennysprosentti kuiva-aineesta eri lannoituskäsittelyissä. 0= käsittelymätön, N=typpilannoitus, Ca=kalkitus.

Table 7. Percentage loss on ignition of dry root weight 0=control, N=nitrogen fertilization, Ca=liming.

Käsittely Treatment	Koe — Experiment				Keskiarvo Mean	mg org.ainesta/ cm ³ humusta mg organic matter/ cm ³ humus
	53	68	79	100		
0	96	98	100	97	97,8	6,7
N	94	98	94	96	95,5	6,5
Ca	92	96	87	95	92,5	8,4
NCa	96	96	92	91	93,8	7,6

3.3. Mykoritsojen sisärakenne

Suhteet

leikkeiden perusteella korjattu näytemäärä
preparoimismikroskoopilla määritetty näytemäärä

laskettiin erikseen kalkituille ja kalkitsemattomille näytteille:

	Kalkitsematon	Kalkittu	Kaikki
A _H	1,04	1,00	1,02
A _M	1,09	1,09	1,09
D	0,96	1,14	1,04
PS	0,91	0,78	0,83

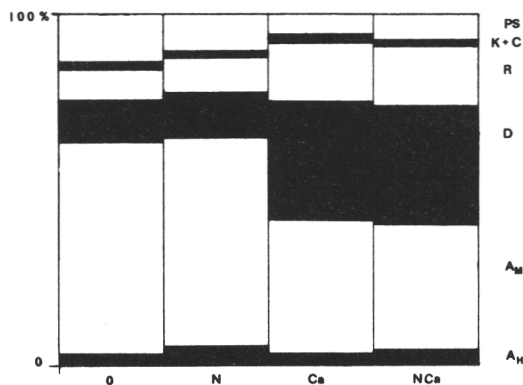
Sisärakenteen perusteella A_M-mykoritsoja oli enemmän ja PS-mykoritsoja vähemmän kuin silmävaraisen luokituksen perusteella. Kalkittujen ja kalkitsemattomien näytteiden välinen ero oli suurin D-luokassa. Kuten odotettua, A_H- ja D-mykoritsat olivat paksumpia kuin A_M- ja PS-mykoritsat (taulukko 8). A_H- ja D-luokkiin viedyissä leikkeissä oli säännöllisemmin vaippa, joka oli myös paksumpi kuin muilla. Juuren ja sen keskuslieriön läpimitassa eikä vaipan paksuudessa ilmennyt käsittelystä johtuvaa vaihtelua. Keskuslieriön ja juuren läpimitan suhde oli pienin käsittelemättömillä koaloilla.

Taulukko 8. Leikkeistä mitatut juuren tunnuksat mykoritsaluokissa A_H, A_M, D ja PS käsittelyittäin.

0 = käsittelemätön, N = typpilannoitus, Ca = kalkitus.

Table 8. Dimensions measured from sections of the mycorrhizal types, A_H, A_M, D and PS. 0 = control, N = nitrogen fertilization, Ca = liming.

Luokka	Käsittely	Lukumäärä	Juuren läpimitta μm	Keskuslieriön läpimitta μm	Keskusl./juuri	Vaipan esiintyminen % näytteistä	Vaipan paksuus μm	Hartigin verkon esiint.
Mycorrhizal type	Treatment	Number of sections	Root diameter μm	Central stele diameter	Central stele/root	Presence of mantle, % of sections	Mantle thickness μm	Presence of Hartig net, % of sections
A _H	0	14	318	129	0,40	100	21	86
	N	14	332	120	0,36	100	25	100
	Ca	8	328	148	0,44	100	17	88
	NCa	13	314	152	0,49	100	15	100
A _M	0	12	282	115	0,38	83	10	75
	N	12	282	129	0,46	83	8	100
	Ca	12	305	129	0,42	83	8	67
	NCa	12	291	138	0,46	100	12	100
D	0	10	346	134	0,37	100	29	90
	N	12	365	171	0,47	100	35	83
	Ca	13	332	129	0,41	100	23	77
	NCa	12	369	185	0,50	100	23	75
PS	0	10	282	92	0,32	30	1	50
	N	11	282	102	0,36	45	4	100
	Ca	9	318	157	0,48	33	3	44
	NCa	5	245	102	0,41	60	8	40



Kuva 9. Mykoritsaryhmien osuudet % juurenkärkien määrästä käsittelyittäin.

Fig. 9. Proportions of mycorrhizal types (% of the number of root tips) in the different treatments.

D-mykoritsoissa ei ollut solunsisäisiä hyejejä lainkaan, ja PS-ryhmän lyhytjuurissa niitä oli eniten (taulukko 9). PS-luokkaan vietyjä leikkeitä oli vähemmän kuin minkään muun luokan edustajia (taulukko 8), joten solunsisäisen infektion osuus oli PS-lyhytjuurissa suhteellisesti vielä suurempi kuin taulukko osoittaa. Eri käsittelyjen välillä ei nähtä olevan eroja.

Juuren ja vaipan paksuuden sekä ravinnestunusten välistä yhteyttä selittävät lineaariset regressioyhtälöt olivat seuraavat:

A_M-mykoritsat

$$J = 116 - 5,55 N + 0,002 Ca - 24,9 P - 24,9 B - 0,09 K$$

$$100 R^2 = 7,1$$

$$V = 9,32 - 1,43 N - 0,006 Ca^* - 7,90 P^* + 12,4 B^* + 0,02 K$$

$$100 R^2 = 31,6$$

D-mykoritsat

$$J = 81,7 - 2,73 N - 0,001 Ca - 17,3 P + 9,11 B + 0,13 K$$

$$100 R^2 = 6,5$$

$$V = 3,62 + 0,53 N + 0,003 Ca^* - 0,36 P - 9,47 B + 0,01 K$$

$$100 R^2 = 17,4$$

Merkinnät:

J=juuren läpimitta μm Ca=humuksen vaihtuva kalsium
V=vaipan paksuus μm P = humuksen liukoinen fosfori
N=humuksen kokonais- B = humuksen booripitoisuus
typpipitoisuus (taulukko 3) K = humuksen vaihtuva kalium

100 R²= selityssaste %

* = t-testin antama merkitsevyystaso, riski < 5 %

Ravinnepitoisuudet eivät selvittäneet juuren läpimittaa, eivätkä regressiokertoimet olleet merkitseviä. Sen sijaan vaipan paksuutta humuksen kalsium- ja booripitoisuudet selittivät hieman paremmin. Kertoimet olivat erimerkkisiä A_M- ja D-mykoritsojen kohdalla, mikä tukee niitä tuloksia, joiden mukaan näiden ryhmien keskinäiset suhteet

Taulukko 9. Solunsisäisen infektion esiintyminen leikkeissä. 0=käsittelemätön, N=typpilannoitus, Ca=kalkitus

Table 9. Presence of intracellular infection in the sections. 0=control, N=nitrogen fertilization, Ca=liming.

Käsittely Treatment	Mykorrhizaluokka Mycorrhizal type				Yhteensä Total
	A _H	A _M	D	PS	
0	1	0	0	2	3
N	0	3	0	1	4
Ca	1	0	0	1	2
NCa	0	1	0	2	3
Yhteensä Total	2	4	0	6	12

muuttuivat kalkituksen vaikutuksesta.

Koska kalsium- ja booripitoisuuksien kerrointen välinen korrelaatio oli melko suuri, kokeiltiin lineaarista mallia, jossa boori ei ollut selittävien muuttujien joukossa. Tällöin mallin selitysaste jäi vielä pienemmäksi kuin edellä esitetyn mallin.

3.4. Sienirihmasto

Hyfinpituuden määrittämisestä saadut tulokset (taulukko 10) ovat melko epävarmoja, mutta suuntauksena näyttää olevan hyvien määrän lisääntyminen kalkituksen vaikutuksesta. Useimmissa näytteissä oli jonkin verran kasaumia, koska humus ei jakautunut suspensioon riittävän tasaisesti.

Myös lyhytjuurten ulkopuolisen rihmaston määrä, näytteiden hyyfyisyys, lisääntyi huomattavasti kalkituksen vaikutuksesta (taulukko 11). Muutos oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Typpilannoitus ei vaikuttanut hyyfyisyyteen.

Taulukko 10. Sienihyfyien määrä ($\mu\text{m}/\text{cm}^3$) humuseroksen pintaosassa. Alleviivatuissa tapauksissa erityisen paljon kasaumia. 0=käsittelemätön, N=typpilannoitus, Ca=kalkitus.

Table 10. Length of fungal hyphae ($\mu\text{m}/\text{cm}^3$) in the 0-1 cm humus layer. The underlined values are doubtful because of flocculation of the humus. 0=control, N=nitrogen fertilization, Ca=liming.

Käsittely — Treatment	Koe — Experiment			
	53	68	79	100
0	16	<u>3</u>	3	7
N	0,1	<u>7</u>	3	3
Ca	22	<u>0,1</u>	<u>14</u>	98
NCa	12	<u>4</u>	<u>13</u>	88

Taulukko 11. Lyhytjuurinäytteiden hyyfyisyys (0-3). 0=käsittelemätön, N=typpilannoitus, Ca=kalkitus.

Table 11. The index (0-3) expressing the amount of fungal hyphae attached to the short root samples. Significant differences indicated.

Käsittely Treatment	Hyyfyisyys Amount of hyphae (mean)	Vaihtelun lähde Source of variation	Eron merkitsevyys Significance
0	1,0		
N	1,0	N	
Ca	1,6	Ca	***
NCa	1,8	NCa	

***:P < 0,01

4. TULOSTEN TARKASTELUA

4.1. Luotettavuustarkastelu

Mykorrhizojen luokittelun päämääränä pidetään isäntäkasvin ja sienien lajikohtaista tunnistamista. Tähän on päästy vain harvoissa tapauksissa. Kuitenkin mykorrhizojen ekologisten ja fysiologisten ominaisuuksien tutkiminen, eri sienilajien vertailu ja ilmiön hyväksikäyttö edellyttää sienten tunnistamista (Trappe 1967).

Suuren näytemäärän vuoksi tässä työssä

käytettiin melko karkeaa ja nopeaa menetelmää, joka oli mukailtu Melinin järjestelmän pohjalta. Luultavasti käytetyt morfologiset tunnuksot ovat fysiologisesti tärkeitä, mutta niiden suhteellista merkitystä on vaikea arvioida.

Juurenkärjistä tehtyjen leikkeiden avulla haluttiin tarkistaa silmävaraista luokitusta. Virhe oli suurimmillaan PS-lyhytjuurten määrittämisessä. Tähän ryhmään oli viety runsaasti juuria, jotka lähemmin tarkastel-

tuina osoittautuivat hyvinmuodostuneiksi mykoritsoiksi. Yleensä silmävarainen luokitus piti melko hyvin paikkansa.

Käsittelyjen väliset erot olivat samansuuntaisia suhteellisia ja lukumääräisiä arvoja käytettäessä. Lisäksi juurten todellisissa määrissä ei ollut olennaisia eroja käsittelyjen välillä. Tämän vuoksi riittävän hyvä käsitys mykoritsasuhteiden muutoksista saataneen käytetyllä menetelmällä — tarkastelemalla kunkin mykoritsaluokan määrän tai osuuden muutosta erillisenä.

4.2. Ravinteiden käyttökelpoisuus ja mykoritsat

Kalkitus nosti maan pH:ta voimakkaasti. Alhaisin vertailukoelalalta mitattu arvo oli 3,1 ja korkein kalkkikoelalalta mitattu 5,6. Kuitenkin 20 vuoden kuluttua kalkituksesta (2000 kg/ha) pH oli lähellä alkuperäisiä arvoja samoin kuin humuksen kalsiumpitoisuus. Kalkituksen vaikutus humuksen happamuuteen ei ole kovin pitkäaikainen, vaikka suurin osa lisätystä kalkista jää maan pintakerroksiin.

Happamuuden väheneminen välillä pH 3,1 — pH 5,6 parantaa useimpien ravinteiden saatavuutta. Suurin osa tätä koskevista tutkimuksista on kuitenkin tehty viljelykasveilla (Mengel ja Kirkby 1982). Boorin määrä lisääntyi selvästi kalkituksen vaikutuksesta. Hyvin happamesta maasta booria huuhtoutuu boorihappona, ja pH:n nousu vähentää huuhtoutumista, koska se lisää boraattien sitoutumista maahan.

Vaihtuvan magnesiumin lisääntyminen kalkituksen vaikutuksesta johtui todennäköisesti siitä, että kalkikivijauheessa oli ollut kalsiitin, CaCO_3 , lisäksi myös dolomiittia, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Jos maahan lisätään liikaa kalsiumia verrattuna magnesiumiin, kasvien saatavissa olevan magnesiumin määrä vähenee (Jokinen 1981).

Fosforin liukoisuudessa ei havaittu muutoksia, vaikka fosfaattien saatavuuden olisi voinut odottaa paranevan pH:n noustessa (Mengel ja Kirkby 1982). Pohjoisirlantilaisilla turvemailla tehdyissä kalkituskokeissa kalkitus ei ole parantanut fosfaattien saatavuutta, kun karikekerroksen pH on noussut 4,0:sta 6,0—6,5:een. Kalkitus on vähentänyt sitkankuusen (*Picea sitchensis*) neulasten fos-

foripitoisuutta (Adams ym. 1978), ja myös puuston kasvu on vähentynyt siksi, että kalkitus estää lannoitefosforin hyväksikäyttöä (McConaghy ym., ks. Adams ym., emt.). Ulrich ja Keuffel (1970) pitävät fosforilannoitusta tarpeellisenä kalkituksen yhteydessä.

Maan fosforipitoisuus on yleensä hyvin alhainen, joten juuriston laajuudella on merkitystä erityisesti kasvien fosforinoton kannalta. Mykoritsojen ulkoinen rihmasto ottaa fosfaatteja myös juurten välisistä tiloista, jotka muuten jäisivät hyödyntämättä. Jos fosforin saatavuus vähenee kalkituksen yhteydessä, ulkoisen rihmaston lisääntyminen on edullista. Lajien välisiä eroja kyvyssä käyttää orgaanisia fosforiyhdisteitä ei ole osoitettu (Bowen 1973).

4.3. Mykoritsasuhteiden muutokset

Kalkitus vaikutti voimakkaasti eri mykoritsaryhmien suhteisiin. Sen sijaan juurten kuivapaino nousi vain lievästi, samoin dikotomisesti haarauneiden juurten osuus. Lievä kalkitus näyttää vaikuttavan mykoritsainfektion luonteeseen, ei määrään.

Juurenkärkien lukumääräksi humuksessa saatiin 40—50 kpl/cm³, mikä on noin kaksi kertaa suurempi tulos kuin vastaavasta kerroksesta aiemmin laskettu (Mikola ja Laiho 1962). Kahdella kalkitustasolla ei ollut keskenään merkitseviä eroja. Uusintakalkituksesta oli kulunut vain 1—2 vuotta, joten sen vaikutus ei ilmeisesti ollut vielä tullut esiin. Koska kalkituksen juurissa aiheuttamat muutokset ovat epäsuoria, niiden ilmeneminen kestää useita vuosia (Viro 1962).

Käytetyillä typpilannoitemäärillä ei todettu olleen muuta vaikutusta kuin A_H - ja G-mykoritsojen runsastuminen. Kalkin ja tyypen yhdysvaikutusta ei tullut esiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa typpilannoituksen on todettu vähentävän lyhytjuurten määrää ja estävän mykoritsanmuodostusta. Samalla lyhytjuurten ikä pitenee, joten osa juurten kasvattamiseen kuluvista voimavaroista voi siirtyä muuhun käyttöön puussa (Alexander ja Fairley 1983).

Selvin muutos oli D-mykoritsan lisääntyminen kalkituilla koeloilla. R-mykoritsat lisääntyivät ja A_M - ja PS-mykoritsat vähenivät. A_M -mykoritsat ovat melko heikosti ke-

hittyneitä, joten olosuhteiden muuttuessa paremmin sopeutuva sienilaji pystyy valtaamaan näitä juuria. Kalkituilla koelaloilla luokitusta jouduttiin korjaamaan D-mykoritsan suuntaan, koska joissakin tapauksissa *Cenococcum*-infektio oli vielä niin vähäinen, että sen havaitsemiseen tarvittiin mikroskooppia.

Näytteiden hyöfisyiden ja humuksen hyöfimäärän huomattava lisääntyminen kalkituksen vaikutuksesta on yhteydessä D- ja R-mykoritsojen osuuden kasvuun. On mahdollista, että näiden ryhmien voimakkaat ulkoiset rihmastot auttavat mykoritsan sopeutumista. Eri sienilajien väliset erot niiden vaikutuksessa puiden kasvuun saattavat johtua eroista rihmastojen (mycelial strands) ulottuvuudessa (Bowen 1973). Näiden rihmastojen on todettu kuljettavan fosfaatteja jopa 12 cm etäisyydeltä juuriin (Skinner ja Bowen 1974). Huonokuntoisten ja kuolleiden juurenkärkien osuuden väheneminen saattoi osaltaan johtua hajotustoiminnan vilkastumisesta.

K-mykoritsaa sisältävien näytteiden osuus väheni kalkituksen vaikutuksesta. Ilmeisesti kalkitus muutti kasvupaikkaa K-mykoritsalle epäsuotuisammaksi, sillä tämän tiedetään olevan yleisin vanhoissa kuusivaltaisissa metsissä. Taimitarhoilla K-mykoritsaa ei esiinny (Mikola 1961).

Cenococcum graniformen on aikaisemminkin todettu lisääntyvän kalkituksen ja lannoituksen jälkeen. Ritter ja Tölle (1978) havaitsivat lajin osuuden lisääntyvän, kun typpeä annettiin kalkiammonsulfaattina yli 600 kg/ha. Erittäin suuria lannoitemääriä käytettäessä (N yli 1 500 kg/ha) *Cenococcum* oli lähes ainoa mykoritsa muodostava laji. Myös Adamsin ym. (1978) kalkituskokeissa, joissa kalkkia käytettiin 5 000 ja 10 000 kg/ha, ”juuret näyttivät mustemmilta kalkituilla koelaloilla kuin kalkitseemattomilla, ja niissä oli ilmeisesti erilainen mykoritsarakenne” (s. 62). Toisaalta lajin osuuden todettiin pienenevän Alexanderin ja Fairleyn (1983) kokeissa, joissa typpeä annettiin ammoniumsulfatilla 75—300 kg/ha.

Cenococcum graniformen ja muiden ulkoista rihmastoja muodostavien lajien lisääntymisen ja puuston kasvun välinen yhteys voidaan selittää kahdella tavalla: (1) *Cenococcum* ja muut lisääntyneet mykoritsamuodostajat pystyvät muuttuneissa olosuhteissa syrjäyttämään puuston kasvuksi edulli-

semmat sienilajit. (2) Kasvun taantuminen johtuu kalkituksen aiheuttamista, männylle epäedullisista muutoksista maassa, *Cenococcum* ja muut lajit vähentävät näiden muutosten haitallista vaikutusta puun aineenvaihduntaan.

Cenococcum graniforme esiintyy ympäri maailman monenlaisilla kasvupaikoilla, se on helppo tunnistaa ja se poikkeaa monien ekologisten ominaisuuksiensa suhteen muista tunnetuista mykoritsasienistä. Suomessa laji on yleisin tyypillisessä raakahumuksessa, ja sen rihmastolla on merkittävä osuus humuksen muodostumisessa (Mikola 1948). Hitaasti hajoavan rihmaston lisääntyminen vähentää kalkituksen vaikutusta humuksen rakenteeseen.

Yleensä D-mykoritsan osuus puiden juurissa on suhteellisen pieni, mutta se lisääntyy olosuhteiden muuttuessa epäedullisiksi. *Cenococcum* kestää valon puutetta ja siis isäntäkasvin vähentyneitä yhteyttämis toimintaa siksi, että sen oma energiantarve on suhteellisen pieni (Mikola 1948). Typpilannoituksen ja kalkituksen yhteydessä on mykoritsasien kannalta kysymys samasta asiasta, ylimääräisten hiilihydraattien puutteesta.

Cenococcum sietää kosteuden ja lämpötilan vaihteluita paremmin kuin useimmat muut tunnetut mykoritsasienet. Tämä lienee yksi syy siihen, että D-mykoritsa on yleisin humuskerroksen pinnassa, missä vaihtelu on suurinta (Mikola 1948, Worley, ks. Hacs-kaylo 1961). Laji sietää myös maan korkean suolapitoisuuden aiheuttamaa stressiä hyvin (Saleh-Rastin 1976). Kalkitus nostaa maaveden ionikonsentraatiota ja saattaa sitä kautta vaikeuttaa vedenottoa paikallisesti.

Humuksen pH-arvot pysyivät tunnettujen mykoritsasienten happamuudensietokyvyn rajoissa, yleensä myös lähellä laboratoriokokeissa saatuja pH-optimin arvoja. *Corticium bicolor* ja *Cenococcum graniforme* menestyvät happamammassa oloissa kuin useimmat muut tunnetut, meillä esiintyvät mykoritsamuodostajat. *C. bicolorin* pH-optimiksi on saatu 3,5 ja *C. graniformen* 4,0 (Mikola 1961, 1948). Marxin ja Zakin (1965) kokeissa *Cenococcumin* muodostamien mykoritsojen määrä pysyi samana happamuuden vähetessä välillä pH 4,0 — 6,6, mutta niiden tehokkuus väheni: taimet olivat hyväkuntoisempia happamammalla alustalla.

On esitetty, että *Cenococcum* voisi vai-

keissa oloissa toimia yksipuolisesti parasitiivisena, mutta tästä ei ole todisteita. Ääritapauksissa *Cenococcum* on lähes ainoa juurten yhteydessä elävä sienilaji, jolloin isäntä tuskin jäisi eloon, ellei suhteesta olisi sille hyötyä (Trappe 1962). Suhteen pysymiseen ennallaan kalkituksen yhteydessä viittaa sekin, että D-mykoritsoista ei löydetty lainkaan solunsisäistä sienirihmastoja.

Tiedot *Cenococcum graniformen* vaikutuksesta mäntyjen kasvuun ovat ristiriitaisia. Marx ja Zak (1965) kasvattivat *Laccaria laccata*-, *Suillus luteus*- ja *Cenococcum graniforme* -kantoja yhdessä *Pinus elliottii* -taimien kanssa. Vaikka *Cenococcum* muodosti vähemmän mykoritsoja kuin muut lajit, se vaikutti taimien kasvuun yhtä suotuisasti

kuin muutkin. Myös Hacsckaylon ja Vozzon (1967) kokeissa *Cenococcum* lisäsi *P. caribaeae* kasvaa yhtä paljon kuin useimmat muut kokeillut sienilajit. Lamb ja Richards (1971) saivat samansuuntaisia tuloksia *P. elliottii*- ja *P. radiata* -taimilla. Sen sijaan Theodorou ja Bowen (1970) ilmoittivat, ettei *Cenococcum* ollut mitään vaikutusta *P. radiatan* kasvuun. Tosin tähän mennessä saadut tulokset eri sienilajien tehokkuuden vertailuista ovat vain suuntaa antavia.

Mykoritsojen voimakas muutos on ilmeisesti oire häiriöstä puun ravinteiden- ja vedenotossa. Jatkotutkimuksissa tulisi pyrkiä selvittämään, miksi D- ja R-mykoritsojen osuus lisääntyy kalkituksen vaikutuksesta.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kalkituksen vaikutusta männyn mykoritsojen määrään, morfologiaan ja eri mykoritsojen välisiin suhteisiin. Mykoritsoja tarkasteltiin humuskerroksen pinnasta otetuista näytteistä. Lannoituskäsittelyt olivat kalkituksen ja typpilannoituksen faktoriaaliset yhdistelmät neljänä toistona. Kalkikivijauhetta oli annettu 2 000 kg/ha noin 20 vuotta aikaisemmin, ja kahdelle kokeelle sitä oli lisätty 4 000 kg/ha ennen näytteenottoa. Typeä oli lisätty useita kertoja. Kalkitus oli yleensä vähentänyt puuston kasvu.

Kalkituksen toistaminen nosti humuksen pH (CaCl_2)-arvoja väliltä 3,2–3,4 välille 4,6–5,6. Kertaalleen kalkituilla koealoilla pH oli lähellä alkuperäistä tasoa. Kalkitus nosti vaihtuvan kalsiumin määrää 2–20 -kertaiseksi sekä lisäsi boorin ja magnesiumin määrää.

Lyhytjuuret luokiteltiin Melinin järjestelmää mukaillen seuraaviin ryhmiin: hyvät A-

mykoritsoja (A_H), muut A-mykoritsoja (A_M), D-, K- ja C-mykoritsoja, ulkoista rihmastoja muodostavat (R) sekä huonokuntoiset ja pseudomykoritsoja (PS). Luokituksen paikansäilyvyys tarkistettiin paraffiini- ja kerosiini-avulla.

Kalkitus lisäsi juurten kuivapainona ilmaistua määrää lievästi. Mykoritsojen suhteet olivat muuttuneet kalkituksen vaikutuksesta huomattavasti. D-mykoritsojen osuus lisääntyi noin 10 %:sta 30 %:iin ja R-mykoritsojen osuus 9 %:sta 17 %:iin. A_M -mykoritsojen osuus väheni 60 %:sta alle 40 %:iin. Typpilannoitus lisäsi A_H -mykoritsojen osuutta, mutta kalkin ja typen yhdysvaikutusta ei todettu. D- ja R-mykoritsojen lisääntyminen nosti mykoritsojen ulkoisen rihmaston määrää, hyyfisyttä.

D-mykoritsoja muodostavan *Cenococcum graniformen* hyvän kilpailukykyyn syynä liehenne se, että laji sietää hyvin maan korkeaa suolapitoisuutta.

LÄHDELUETTELO

Adams, S.N., Cooper, J.E., Dickson, D.A., Dickson, E.L. & Seaby, D.A. 1978. Some effects of lime and fertiliser on a Sitka spruce plantation. *Forestry* 51: 57–65.
Alexander, I.J. & Fairley, R.I. 1983. Effects of N

fertilisation on populations of fine roots and mycorrhizas in spruce humus. *Plant and Soil* 71: 49–54.
Bowen, G.D. 1973. Mineral nutrition of ectomycorrhizae. Teoksessa: Marks, C.G. & Kozlowski, T.T.

- (toim). Ectomycorrhizae — their ecology and physiology. S. 151—205. Academic Press. New York — London.
- Fiedler, H.-J. & Hunger, W. 1963. Ueber den Einfluss einer Kalkdüngung auf Vorkommen, Wachstum und Nährelementhalt höherer Pilze im Fichtenbestand. Arch.f.Forstwes. 12: 936—962.
- HacsKaylo, E. 1961. Factors influencing mycorrhizal development in some cultural practices. Recent Advances in Botany s. 1744—1748. Toronto Univ. Press.
- 1973. Carbohydrate physiology of ectomycorrhizae. Teoksessa: Marks, C.G. & Kozłowski, T.T. (toim). Ectomycorrhizae — their ecology and physiology. S. 207—230. Academic Press. New York — London.
- & Vozzo, J.A. 1967. Inoculation of *Pinus caribaea* with pure cultures of mycorrhizal fungi in Puerto Rico. Proc. 14th Congr. Int. Union For. Res. Organ. 5: 138—148.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyyssien työhjeet. Metsäntutk.lait. tiedonant. 36.
- Hesselman, H. 1937. Om humustäckets beroende av beståndets ålder och sammansättning i den nordiska granskogen av blåbårsrik *Vaccinium*-typ och dess inverkan på skogens förnyring och tillväxt. Zusammenfassung: Ueber die Abhängigkeit der Humusdecke von Alter und Zusammensetzung der Bestände im nordischen Fichtenwald von blaubeerreichem *Vaccinium*-Typ und über die Einwirkung der Humusdecke auf die Verjüngung und das Wachstum des Waldes. Meddn. från St. Skogsförsanst. 30: 529—715.
- Hohtola, A. 1982. Mikrotekniikan työmoniste. Kasvitieteen laitos, Oulun Yliopisto. 24 s. Moniste.
- Jokinen, R. 1981. Kalkituksen vaikutus eräiden kivennäismaiden magnesiumtilaan ja lannoituksena annettuun magnesiumiin. Maatal. tiet. aikakausik. 53.2.
- Laiho, O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. Acta For. Fenn. 106.
- Lamb, R.J. & Richards, B.N. 1971. Effect of mycorrhizal fungi on the growth and nutrient status of slash and radiata pine seedlings. Aust. Forest. 35: 1—7.
- Le Tacon, F. 1978. La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Épice commun (*Picea excelsa* Link.) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra nigricans* Host.). Summary: The presence of calcium carbonate in soil. Influence on the behaviour of Norway spruce and Austrian pine. Ann. Sci. forest. 35: 165—174.
- Marx, D.H. & Zak, B. 1965. Effect of pH on mycorrhizal formation of slash pine in aseptic culture. Forest Sci. 11: 66—75.
- Melin, E. 1927. Studier över barrträdsplantans utveckling i råhumus. II. Mykorrhizans utbildning hos tallplantan i olika humusformer. Referat: Studien über die Entwicklung der Nadelbaumpflanze in Rohhumus. II. Die Ausbildung der Mykorrhiza bei der Kiefernplanze in verschiedenen Rohhumusformen. Meddn. från St. Skogsförsanst. 23: 433—494.
- Mengel, K. & Kirkby, A. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Inst. Bern. 593 s.
- Mikola, P. 1948. On the physiology and ecology of *Cenococcum graniforme* especially as a mycorrhizal fungus of birch. Commun. Inst. For. Fenn. 36.3.
- 1961. The bright yellow mycorrhiza of raw humus. Proc. 13th Congr. Int. Union For. Res. Organ. 1.
- & Laiho, O. 1962. Mycorrhizal relations in the raw humus layer of Northern spruce forests. Commun. Inst. For. Fenn. 55.18.
- Nömmik, H. 1968. Nitrogen mineralization and turnover in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) raw humus as influenced by liming. Transact. 9th Int. Congr. of Soil Sci. Vol II(56), 533—545.
- Richards, B.N. 1965. Mycorrhiza development of loblolly pine seedlings in relation to soil reaction and the supply of nitrate. Plant and Soil 22: 187—199.
- Ritter, G. & Tölle, H. 1978. Stickstoffdüngung in Kiefernbeständen und ihre Wirkung auf Mykorrhizabildung. Beitr. Forstwirtschaft. 12(4): 162—166.
- Saleh-Rastin, N. 1976. Salt tolerance of the mycorrhizal fungus *Cenococcum graniforme* (Sow.) Ferd. Eur. J. For. Pathol. 6: 184—187.
- Skinner, M.F. & Bowen, G.D. 1974. The uptake and translocation of phosphate by mycelial strands of pine mycorrhizas. Soil Biol. Biochem. 6: 53—56.
- Sundman, V. & Sivelä, S. 1978. A comment on the membrane filter technique for estimation of length of fungal hyphae in soil. Soil Biol. Biochem. 10: 399—401.
- Tamm, C.O. 1974. Kalkproblemet för jord, skog och miljövård. II. Skog. Summary: Problems of lime treatment of soil, forest and as concerns nature conservation. II. Forests. K. Skogs- o. Lantbruks-Akad. Tidskr. 113: 37—43.
- & Pettersson, A. 1969. Studies on nitrogen mobilisation in forest soils. Stud. For. Suec. 75.
- Theodorou, C. & Bowen, C.D. 1970. Mycorrhizal responses of radiata pine in experiments with different fungi. Aust. Forest. 34: 183—191.
- Trappe, J.M. 1962. *Cenococcum graniforme* — its distribution, ecology, mycorrhiza formation and inherent variation. Diss. Abstr. 23.3.
- 1967. Principles of classifying ectotrophic mycorrhizae for identification of fungal symbionts. Proc. 14th Congr. Int. Union For. Res. Organ. 5: 46—59.
- Ulrich, B. & Keuffel, W. 1970. Auswirkungen einer Bestandeskalkung zu Fichte auf den Nährstoffhaushalt des Bodens. Forstarchiv 41: 30—35.
- Westman, C.J. 1979. Metsämaatieten laboratoriokurssi. Helsingin Yliop. metsänhoitotiet. lait. tiedonant. 18. Helsinki. 55 s.
- Viro, P.J. 1958. Eräitä metsämaan lannoituskokeita. Metsätaloud. Aikak. lehti 5: 151—155.
- 1962. Kalkkikysymys metsässä. Sementtiyhdytied. 1: 5—8.
- 1967. Forest manuring on mineral soils. Medd. Norske Skogforsksv. 85: 113—136.

Total of 36 references

SUMMARY

The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine

The effect of liming and nitrogen fertilization on the biomass and morphology of mycorrhizae and on the frequency of mycorrhizal types was examined. The material was collected from four factorial fertilization experiment stands in Southern Finland. All the limed plots had been treated with 2 000 kg/ha ground limestone in 1959—60, and 4 000 kg/ha was added to half of them in 1978—79 (1—2 years before sampling). Nitrogen was applied several times. Nitrogen fertilization increased the increment of the stands, and liming decreased it. Lime together with N did not increase the growth as much as N alone (Fig. 1).

Soil samples (240) were taken from the 0—1 cm layer of the humus. The pH (CaCl_2) of the humus was 3,2—3,4 in the control plots and 4,6—5,6 in the plots twice limed. There was 2—20 times more exchangeable calcium in the humus of the limed plots than in the controls. The amounts of boron and magnesium were increased by lime (Table 3).

Short roots were classified according to a modification of Melin's system, in the following way: "good" A-mycorrhizae (A_H); other A-mycorrhizae (A_M); mycorrhizae with external mycelium (R); old and pseudomycorrhizae (PS); D-mycorrhizae, formed by *Cenococcum graniforme* (*C. geophilum*); K-mycorrhizae, formed by *Corticium bicolor*; C-mycorrhizae, formed by *Boletus* sp. Dichotomously branched root tips (G) were counted separately. Microscopic examination of stained paraffin sections confirmed the above classification (Figures 2—8).

The amount of external mycelium attached to the short roots was examined from each sample and given a value ranging from 0 to 3: 0 = no external hyphae or rhizomorphs, and 3 = vigorous mycelium around almost all the root tips. The average of this index was increased from 1,0 to 1,6 by lime (Table 11). Moreover, the length of fungal hyphae in the humus was smaller in the control plots than in the limed ones (Table 10).

Liming increased the dry weight of short roots per volume of soil. The increase in weight was, however,

partly due to mineral soil attached to the external mycelium in the limed plots which was difficult to completely remove.

The percentage of samples with at least one D-mycorrhiza increased from 78 % to 95 % and samples with K-mycorrhiza decreased from 33 % to 13 % because of liming (Table 4). The differences between the treatments in the percentages and numbers of mycorrhizal types were examined with analysis of variance. Liming increased the numbers of D-mycorrhizae from 12 % of the total number of short root tips to 30 % and the numbers of R-mycorrhizae from 9 % to 17 %. The proportion of A_M -mycorrhizae decreased from 60 % to less than 40 %, and PS-mycorrhizae from 13 % to 6 %, correspondingly (Table 6, Figure 9).

There were no significant differences between the plots with 2 000 kg and 2 000+4 000 kg lime, probably because the 4 000 kg was applied only a year or two years before sampling, and its effect was not yet manifest (Table 5).

Nitrogen fertilization increased the percentage of dichotomous short root tips and "good" A-mycorrhizae, which indicates an enhanced mycorrhizal infection. No interaction of lime and nitrogen was detected (Table 6).

There are two alternative ways of explaining the relative increase of D- and R-mycorrhizae and the diminished growth of trees after liming: (1) *Cenococcum graniforme* and other fungi forming external mycelium are not so beneficial for trees as other mycorrhizal fungi, or (2) the changes in soil properties brought about by liming are injurious for Scots pine, but D- and R-mycorrhizae make it easier for them to tolerate the conditions.

The relationship between the tree and the fungus apparently remained symbiotic, for no intracellular hyphae were found in D-mycorrhizae (Table 9). *C. graniforme* is very tolerant to drought and high concentrations of salts, which may be the reason for the increase of its numbers.

ODC 181.351+114.267+237.4
ISBN 951-40-0683-6
ISSN 0015-5543

LEHTO, T. Kalkituksen vaikutus männyn mykoritsoihin. Summary: The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine. *Folia For.* 609:1—20.

The effect of liming and nitrogen fertilization on the 0—1 cm layer of the humus was examined 20 years after liming (2000 kg/ha) from samples taken from four fertilization experiments (treatments: O, nitrogen, lime, nitrogen + lime). Liming increased the dry weight of short roots. The proportion of *D-mycorrhizae* (*Cenococcum graniforme*) increased from 12 % of the total number of root tips to 30 % and the proportion of other mycorrhizae forming external mycelium from 9 % to 17 % while the percentage of *A-mycorrhizae* decreased. Nitrogen fertilization increased the proportion of dichotomously branched root tips and "good" *A-mycorrhizae*.

Correspondence: The Finnish Forest Research Institute, Department of Soil Science, Box 18, SF-01301 Vantaa 30, Finland.

ODC 181.351+114.267+237.4
ISBN 951-40-0683-6
ISSN 0015-5543

LEHTO, T. Kalkituksen vaikutus männyn mykoritsoihin. Summary: The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine. *Folia For.* 609:1—20.

The effect of liming and nitrogen fertilization on the 0—1 cm layer of the humus was examined 20 years after liming (2000 kg/ha) from samples taken from four fertilization experiments (treatments: O, nitrogen, lime, nitrogen + lime). Liming increased the dry weight of short roots. The proportion of *D-mycorrhizae* (*Cenococcum graniforme*) increased from 12 % of the total number of root tips to 30 % and the proportion of other mycorrhizae forming external mycelium from 9 % to 17 % while the percentage of *A-mycorrhizae* decreased. Nitrogen fertilization increased the proportion of dichotomously branched root tips and "good" *A-mycorrhizae*.

Correspondence: The Finnish Forest Research Institute, Department of Soil Science, Box 18, SF-01301 Vantaa 30, Finland.

Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____



Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND

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:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

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

Punkaharjun jalostuskoelasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koelasema
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 30, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 587 Jalkanen, Risto & Kurkela, Timo: Männynversoruosteiden aiheuttamat vauriot ja varhaiset pituuskasvutappiot. Damage and early height growth losses caused by *Melampsora pinitorqua* on Scots pine.
- No 588 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. investoinnin perusteella. Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory.
- No 589 Paavilainen, Eero: Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps.
- No 590 Metsätilastollinen vuosikirja 1983. Yearbook of Forest Statistics, 1983.
- No 591 Elovirta, Pertti & Ihalainen, Ritva: Metsä- ja maatalousammatit nuorten ammattisuunnitelmissa. Young people's professional plans in forestry and agriculture.
- No 592 Lilja, Arja: Ilmalevintäisen sinistymisen aiheuttajista ja eräiden fungisidien tehosta niiden torjunnassa. Fungi causing air-borne sap stain in wood and efficiency of some fungicides against them.
- No 593 Parviainen, Jari: Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla. The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different ways.
- No 594 Mäki, Elina: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1982. Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1982 by districts.
- No 595 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1983. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1983.
- No 596 Vuokila, Yrjö, Laasasenaho, Jouko & Ihalainen, Antti: Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus viljelykuusikoissa. The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations.
- No 597 Gustavsen, Hans Gustav & Mielikäinen, Kari: Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Site index curves natural birch stands in Finland.
- No 598 Salo, Kauko: Joensuun ja Seinäjoen asukkaiden luonnonmarjojen ja sienten poiminta v. 1982. The picking of wild berries and mushrooms by the inhabitants of Joensuu and Seinäjoki in 1982.
- No 599 Uusvaara, Olli: Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures.
- No 600 Rubki uhoda. Rezultaty finsko-sovetskogo sovmeštogo naučnogo issledovanija. Harvennuspuun korjuu. Tuloksia suomalais-neuvostoliittolaisesta yhteistutkimuksesta. Thinning operations. Results from Finnish-Soviet joint research study.
- No 601 Veijalainen, Heikki, Reinikainen, Antti & Kolari, Kimmo K.: Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report.
- No 602 Saarsalmi, Anna: Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatica Gigantea'* plantation.
- No 603 Palmgren, Kristina: Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming.
- No 604 Pelkonen, Paavo: Temperature response of electrical impedance in poplar cuttings: A preliminary concept. Poppelipistokkaiden impedanssin riippuvuus lämpötilasta: Alustava malli.
- No 605 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1982—84. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1982—84.
- No 606 Arbetsorganisation i skogsbruket. Slutrapport för ett projekt vid Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd under perioden 1981—1983. The organization of work in forestry. Metsätalouden työorganisaatio.
- No 607 Jokinen, Katriina: Männyn tyvitervastaudin leviäminen ja torjunta harmaaorvakalla (*Phlebiopsis gigantea*) männyn taimikoiden harvennuksessa. The spread of *Heterobasidion annosum* and its control using *Phlebiopsis gigantea* during thinnings in the young stands of Scots pine.
- No 608 Savonen, Eira-Maija & Lähde, Erkki: Paakun taimimäärän vaikutus männyntaimien kehitykseen. Effects of seedling density on the development of containerised Scots pine seedlings.
- No 609 Lehto, Tarja: Kalkituksen vaikutus männyn mykorritsoihin. The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine.
- No 610 Repo, Tapani, Mela, Martti & Valtanen, Jukka: Männynversosyövälle alttiiden ja vastustuskykyisten taimialkuperien erottaminen neulasten ominaisimpedanssin mittauksella. Separation of susceptible and resistant provenances of Scots pine to *Gremmeniella abietina* by specific needle impedance.

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.