

FOLIA FORESTALIA 603

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

KRISTINA PALMGREN

MUOKKAUKSEN JA KALKITUKSEN
AIHEUTTAMIA MIKROBIOLOGISIA
MUUTOKSIA METSÄMAASSA

MICROBIOLOGICAL CHANGES IN FOREST
SOIL FOLLOWING SOIL PREPARATION AND
LIMING



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 Nyysönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
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 koemasella. 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 603

Metsäntutkimuslaitos, Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Kristina Palmgren

MUOKKAUKSEN JA KALKITUKSEN AIHEUTTAMIA MIKROBIOLOGISIA MUUTOKSIA METSÄMAASSA

Mircobiological changes in forest soil following soil preparation
and liming

Approved on 23.11.1984

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
2.1 Kokeet ja koejärjestelyt	4
2.2 Näytteiden keruu, käsittely ja analysointi sekä muut määrittelyt	4
2.3 Tilastolliset menetelmät	6
3. TULOKSET	6
3.1 Janakkalan koe	6
Maan pH	6
Humuskerroksen bakteeripopulaatio	6
Kivennäismaan bakteeripopulaatio	6
Karikkeen ja selluloosan hajoitus	9
3.2 Tammelan koe	10
Maan pH	10
Karike- ja humuskerroksen bakteeripopulaatio	11
Kivennäismaan bakteeripopulaatio	11
Faktoriratkaisut	12
3.3 Käsittelyjen vaikutus puuston kasvuun	15
Janakkalan koe	15
Tammelan koe	15
4. TULOSTEN TARKASTELU	17
4.1 Janakkalan koe	17
4.2 Tammelan koe	18
4.3 Puuston kasvu	19
5. YHTEENVETO	19
KIRJALLISUUS	20
SUMMARY	22

PALMGREN, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming. *Folia For.* 603: 1—27.

Tutkimuksessa tarkastellaan eri muokkausmenetelmien ja kalkitustasojen vaikutusta maan biologisiin ominaisuuksiin sekä taimikon kasvuun puolukka- ja mustikkatyyppien koemännikössä.

Molemmilla kokeilla, joilla muokkauksen intensiiviydestä riippuen kalkki, hakkuutähteet, humuskerros ja kivennäismaa sekoittuivat eri suhteessa, käsittelyt oli toistettu kolmesti.

Kokeiden perustamisvaiheessa sekä tutkimuskauden päätyessä selvitettiin maan ravinnetilannetta ja happamuutta. Biologisia määrittelyjä varten koelaloilta otettiin maakairalla satunnaisesti näytteitä orgaanisesta kerroksesta ja kivennäismaasta (0—10 cm, 10—20 cm) yhden kasvukauden aikana toukokuusta syyskuuhun. Puustot inventointiin 10 v. istutuksen jälkeen. Aineistot tarkasteltiin varianssi-, kovarianssi- ja faktorianalyysiä käyttäen.

Kalkitus ei muuttanut merkittävästi koelajien kivennäismaan pH-tasoa. Kalkkiannoksen ollessa 2000 tai 3000 kg/ha humuskerroksen pH oli sen sijaan n. 1,0—1,5 pH-yksikköä korkeampi kuin kokeita perustettaessa.

Kalkituksen vaikutus maan orgaanisen kerroksen biologiseen tilaan kuvastui enemmän kvalitatiivisina kuin kvantitatiivisina muutoksina. Kalkki lievensi maan lämpötilan ja kosteuden vaihteluista johtuvia bakteerimäärien jyrkkiä muutoksia. Mitä tehokkaampi muokkaus, sitä selvempi oli sen positiivinen vaikutus bakteerien määräsuhteisiin. Kalkin vaikutus oli yleensä myös selvästi parempi tehokkaan muokkauksen yhteydessä.

Orgaanisen aineksen hajotusaktiiviteetti oli huomattavasti suurempi muokatuilla ja kalkituilla koelajoilla. Hajotusprosessin edetessä kalkin merkitys väheni, mikä viittaa kvalitatiivisiin muutoksiin populaatiotasolla.

Perusteellinen muokkaus lisäsi selvästi taimikon keskিপituutta. Kalkki (2000 ja 3000 kg/ha-tasolla) vaikutti joko selvästi negatiivisesti tai ei lainkaan puuston kasvuun.

The effect of different soil preparation methods and liming levels on the biological properties of the soil and on stand growth were followed in two Scots pine stands growing on sites of the *Vaccinium vitis-idaea* and *Vaccinium myrtillus* site type.

The treatments, comprising the mixing of limestone or basic slag and the humus and mineral soil layers in different proportions depending on the intensity of the soil preparation method, were carried out as three replications in both stands.

The nutrient status and pH of the soil was determined at the beginning and end of the experiments. Random samples were taken for biological analyses at regular intervals from May to September during one growing season) from the organic layer and mineral soil (0—10 and 10—20 cm) layers using a soil auger. The tree stands were inventoried 10 years after planting out. The material was analysed statistically using variance, covariance and factorial analysis.

Liming did not significantly change the pH of the mineral soil. On the other hand, when the liming level was 2000 or 3000 kg/ha the pH of the humus was about 1 to 1,5 pH units higher than at the start of the experiment.

The effect of liming on the biological state of the humus layer was more evident as qualitative than as quantitative changes. Limestone appeared to act as some sort of buffer against the natural changes taking place in the humus as a result of variations in the temperature and moisture conditions. The more intensive the soil preparation treatment, the more favourable was its effect on the numbers of soil bacteria of different groups. The biological effect of liming was, in general, clearly better when combined with intensive soil preparation.

In the experiment carried out on the decomposition of organic material, the decomposing activity was considerably greater on the treated and limed plots. However, the significance of liming decreased as the decomposition process progressed. This indicates that qualitative changes had taken place at the population level.

The results of the inventory carried out on the tree stands showed that the mean height of the trees on the intensively prepared sites was clearly greater. Basic slag (at the 3000 kg/ha level) had a clearly negative effect, limestone had no effect at all on the growth of the stand.

ODC 114.6+118.65+237.1+237.4
ISBN 951-40-0677-1
ISSN 0015-5543

Helsinki 1984. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Maanmuokkauksella on todettu voitavan parantaa metsämaan fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia (esim. Leikola 1974, Mälkönen 1976, Pohtila 1977, Ritari ja Lähde 1978). Näiden muutosten on puolestaan arvioitu edistävän maan mikrobitoimintaa, mutta muokatun maan biologisissa ominaisuuksissa on kuitenkin ilmennyt suurta vaihtelua käytetystä muokkausmenetelmästä riippuen (Voss-Lagerlund 1976).

Metsämaan kalkitukseen on tunnettu mielenkiintoa Keski-Euroopassa jo vuosisadan vaihteesta lähtien. Tällöin kiinnitettiin huomiota ensisijaisesti puuston kasvureaktioon, jonka perusteella usein tehtiin liian nopeita ja virheellisiä johtopäätöksiä kalkin positiivisesta vaikutuksesta (Tamm 1974). Kalkituksen maata parantava vaikutus on osaksi selitettävissä puhtaasti kemiallisin perustein. Siten esim. raudan ja alumiinin sitomaa fosforia voi kalkituksen vaikutuksesta vapautua käytökelpoiseen muotoon, ja vaihtuvan kaliumin ja magnesiumin määrä voi kasvaa niinkään (Persson 1974).

Kalkin vaikutus maan ominaisuuksiin perustuu kuitenkin ensisijaisesti biologisiin ilmiöihin, jotka kytkeytyvät kiinteästi mm. humuksen määrään ja laatuun. Selvitettäessä kalkituksen merkitystä maanparannusmenetelmänä on todettu, että maan heterotrofisten mikro-organismien määrä nousee, populaatorakenne muuttuu ja aktiivisuus kasvaa. Mikro-organismien sukkessiossa primäärihajottajiin kuuluvia sieniä seuraavat bakteerit, joista sädesienet muodostavat ravinteiden mineralisointiin tehokkaasti osallistuvan ryhmän (Mischustin 1978, Küster 1979). pH-optimistaan poikkeavassa, happamassa ympäristössä saattaa Williams'in ym. (1971) mukaan esiintyä sekä neutrofiilisiä että asidofiilisiä sädesieniä jopa enemmän kuin sieniä.

Fiedler ja Hunger (1963), Czerney ja Mai (1970) sekä Goodfellow ja Cross (1974) totesivat mm., että kalkitus aktivoi bakteeri- ja sädesienipopulaatiota sienipopulaation kustannuksella. Toisaalta Bååth'in ym. (1980) mukaan eräällä Pohjois-Ruotsin kalkituskokeella ei todettu merkitseviä muutoksia maan mikrofloorassa, mutta kylläkin mikrofaunassa.

Kun biologinen aktiivisuus paranee kohonneen pH:n ja Ca-ionikonsentraation seurauksena, ravinteiden mineralisoituminen nopeutuu huomattavasti (esim. Nömmik 1968, Tamm ja Popovic 1978). Missä määrin kalkitus muuttaa happaman metsämaan pH:ta riippuu kalkin laadusta, määrästä ja kalkittavasta kohteesta. Jos kalkitus pysyvästi nostaa pH:n lähelle neutraalia, nitrifikaation voimistuminen puolestaan saattaa aiheuttaa nitraatin huuhtoutumista (Zöttl 1960, Popovic 1975, Nömmik 1979). Jansson'in (1958) mukaan tämä kuitenkin edellyttää, että maan pH nousee pysyvästi neutraalipisteen lähelle ja että maassa on ylimäärin ammoniumtyyppiä.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää erilaisten muokkaustapojen sekä kalkituksen ja tuomaskuonannoituksen vaikutusta metsämaan pintakerroksen biologiseen tilaan. Koska ravinteiden kierto metsämaassa pohjimmiltaan määräytyy biologisen potentiaalın mukaan, selvitettiin myös orgaanisen aineen mineralisoitumisnopeutta eri käsittelyillä hajotuskokein.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Eino Mälkönen ja Tauno Kallio sekä MMT Olavi Laiho (METLA) ja MMT Eva Eklund (HY). Heidän esittämänsä huomautukset ja korjausehdotukset olen kiitollisena ottanut vastaan.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Kokeet ja koejärjestelyt

Aineisto kerättiin kahdelta kokeelta, joista Janakkalan koe oli perustettu v. 1967 ja Tammelan koe v. 1972—73. Näiden kokeiden tärkeimmät yleisiedot on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Kokeet oli suunniteltu split plot -menetelmän mukaisesti siten, että pääkäsittelyinä olivat eriaisteiset muokkaustavat ja alakäsittelyinä kalkitus dolomiittikalkilla tai lannoitus tuomaskuonalla. Muokkauskäsittelyt olivat intensiivisyydeltään eriaisteisia siten, että humuksen ja kivennäismaan seossuhde vaihteli mahdollisimman paljon.

Janakkalan kokeessa oli neljä eri muokkauskäsittelyä: 1) Jyrsintä, jolloin humuskerros ja kivennäismaa sekoittuivat n. 15 cm syvyydeltä, 2) humuksesta paljastetun kivennäismaan jyrsiminen n. 15 cm syvyydeltä. Muokkausveveys edellä mainituille käsittelyille oli 1 m, 3) kivennäismaan paljastaminen niinikään 1 m levyiseltä kaistaleelta, ja 4) laikutus, jossa humus oli poistettu 30 × 30 cm kokoiselta laikululta n. 2 m välein. Tätä koejäsentä käytettiin vertailualana siten, että maanäytteet otettiin laikkujen välistä häiriintymättömistä kohdista. Kalkitustasoja oli kolme: 0, 1000 ja 2000 kg dolomiittikalkkia hehtaaria kohti. Kalkki levitettiin 1 m levyiselle kaistalle. Jyrsintäkäsittelyissä kalkki sekoittui maahan muokkauskerroksen syvyydeltä. Muissa käsittelyissä se jäi humuskerroksen tai kivennäismaan pintaan. Kaikki käsittelyt oli toistettu kolmesti.

Tammelan kokeessa oli kolme muokkauskäsittelyä: 1) Auraus kaksisiipisellä metsänviljelyauralla, 2) jyrsintä rumpujyrsimellä, jonka työveveys oli 40 cm, ja 3) muokkaamaton vertailu. Koejärjestelyyn sisältyi lannoitus tuomaskuonalla kolmella tasolla: 0, 1500 ja 3000 kg/ha. Tuomaskuona on keskimäärin 15 % fosforia sisältävä lannoite, jonka kalkitusteho on lähes sama kuin kalkkikivijauheen (Pessi 1970). Myös tässä kokeessa kaikki käsittelyt oli toistettu kolmesti.

Janakkalan kokeelle perustettiin 2-osainen orgaanisen aineksen hajoituskoe, jossa koesubstraatteina olivat

selluloosa ja karike. Valkaistu sulfiittiselluloosa sisälsi 94,5 % α -selluloosaa sekä 5,5 % β ja γ -selluloosaa. Noin 2 mm paksusta selluloosalevyistä leikattiin 2 × 10 cm kokoisia liuskoja, jotka punnittiin ilmakuivina. Kaksi liuskaa pujotettiin 2,5 × 25 cm kokoiseen nylonverkkopussisiin (verkon silmä n. 1 mm), joita sijoitettiin 18 kpl kullekin koealalle syksyllä 1976. Paikat valittiin satunnaislukujen mukaan. Pussit asetettiin viistosti maahan siten, että pussin alareuna tuli n. 15 cm syvyyteen kivennäismaahan. Hajoituskokeen toisena substraattina käytettiin kultakin koealalta huhtikuussa 1977 kerättyä kariketta. Karike koostui aluskasvillisuudesta, pääasiassa puolukan lehdistä, kanervasta, sammalista ja heinistä sekä koivun lehdistä ja männyn neulasista. Nylonverkkopussisiin punnittiin n. 4 g ilmakuivaa kariketta. Huhtikuun lopulla jokaiselle koealalla sijoitettiin satunnaislukujen mukaan 5 karikepussia. Pussit kiinnitettiin maahan ja peitettiin kevyesti karikkeella. Selluloosaliuskojen hajoamista tarkasteltiin 8, 12 ja 24 kk:n jälkeen. Karikepussit nostettiin analysoitaviksi 8 kk:n kuluttua kokeen alkamisesta.

2.2 Näytteiden keruu, käsittely ja analysointi sekä muut määritykset

Mikrobiologisia määrityksiä varten otettiin Janakkalan kokeelta maanäytteet v. 1977 kolmesti (22.5., 20.7. ja 15.9.) ja Tammelan kokeelta v. 1973 viidesti (16.5., 18.6., 10.7., 14.8. ja 11.9.). Satunnaislukuihin perustuen otettiin kummankin kokeen jokaiselta koealalta maa-kairalla 9 osanäytettä kivennäismaasta kahdelta syvyydeltä (0—10 ja 10—20 cm). Janakkalan kokeen vertailualoilta otettiin laikkujen välistä 9 osanäytettä humuskerroksesta ja Tammelan kokeen muokkaamattomilta koealoilta 9 osanäytettä sekä karike- että humuskerroksesta. Kaikki näytteet kuljetettiin välittömästi kylmäpa-

Taulukko 1. Muokkauskokeiden tärkeimmät tunnusmerkit.

Table 1. Description of the soil preparation experiments.

Tunnus Characteristic	Janakkala	Tammela
Sijainti, m m.p.y.	N 61°2'	N 60°43'
Location, m. a.s.l.	E 24°46'	E 23°52'
	120 m m.p.y.	120 m m.p.y.
Metsätyyppi	VT	MT
Site type		
Muokkaus, kalkitus/ lannoitus	V, 1967	VI, XI, 1972
Site preparation, liming/ fertilization		
Istutus, (mä 1+1)	VI, 1967	V, 1973, 1974
Planting (Pine 1+1)		

Taulukko 2. Muokkauskokeiden kivennäismaan rae-koostumus, %.

Table 2. Particle size distribution of the mineral soil in the site preparation experiments, %.

	> 2 mm	2,0—0,2	0,2—0,02	0,02—0,002	< 0,002
Janakkala					
0—10 cm	27,5	29,3	33,4	7,8	2,0
10—20 cm	44,7	25,2	23,9	4,9	1,3
20—30 cm	58,1	21,9	16,3	3,0	0,7
Tammela					
0—10 cm	26,8	20,1	41,2	10,4	1,5
10—20 cm	28,2	19,5	41,1	9,8	1,4
20—30 cm	28,7	20,5	39,8	9,6	1,4

Taulukko 3. Eri näytteistä tutkitut bakteeriryhmät ja menetelmäviitteet (1–6). 1 = bakteerien kokonaismäärä (Taylor 1951, medium V), 2 = ammonifioivat bakteerit (Pochon ja Tardieux 1962), 3 = bakteerien kokonaismäärä ja proteolyttiset bakteerit (Voss-Lagerlund 1976), 4 = kitinolyttiset bakteerit (Skerman 1967), 5 = sädesienet (Taylor 1951, medium V), 6 = sienet (Martin 1950).

Table 3. Bacterial groups determined in the soil samples. Source of the methods (1–6) are given in parentheses. 1 = total number of bacteria (Taylor 1951, medium V), 2 = ammonifying bacteria (Pochon & Tardieux 1962), 3 = total number of bacteria and proteolytic bacteria (Voss-Lagerlund 1976), 4 = chitinolytic bacteria (Skerman 1967), 5 = Actinomycetes (Taylor 1951, medium V, 6 = fungi (Martin 1950).

Bakteeriryhmä Bacterial group	Viite Reference	Janakkala			Tammela			
		Humus- kerros Humus	Kivennäismaa Mineral soil		Karike Litter	Humus- kerros Humus	Kivennäismaa Mineral soil	
			0–10 cm	10–20 cm			0–10 cm	10–20 cm
Bakteerien kokonaismäärä Total number of bacteria	1	x	x	x	x	x	x	x
Ammonifioivat bakteerit Ammonifying bacteria	2	x	x	x	x	x	x	x
Bakteerien kokonaismäärä Total number of bacteria	3				x	x		
Proteolyttiset bakteerit Proteolytic bacteria	3				x	x		
Kitinolyttiset bakteerit Chitinolytic bacteria	4				x	x		
Sädesienet Actinomycetes	5	x	x	x				
Sienet Fungi	6	x	x	x				

noksin varustetuissa styrox-laatikoissa laboratorioon, jossa niitä säilytettiin jääkaapissa (+6 C) enintään kolme vuorokautta ennen analysointia.

Kunkin koealan eri maakerroksia edustavat osanäytteet yhdistettiin kolmeksi kokoomänäytteeksi ja ne käsiteltiin aikaisemmin esitettyjen menetelmien mukaisesti (Voss-Lagerlund 1976). Tämän lisäksi selvitettiin Janakkalan kokeen humus- ja kivennäismaanäytteiden maa- ja kasvaneiden sädesientien määrää ja mikrosienifragmenttien määrää Martin'in (1950) mukaan. Tammelan kokeen karike- ja humusnäytteiden tarkastelu laajennettiin koskemaan kitinolyttisiä bakteereita (Skerman 1967). Pitkän inkubointiajan vuoksi (4 viikkoa huoneen lämpötilassa) maljat suljettiin muovipusseihin kuivumisen estämiseksi.

Käytettyjen kasvalustojen valinta perustui Lockhead ja Chase'in (1943) jo klassiseksi muodostuneeseen maaperäbakteerien ryhmittelyyn ravinnevaatimusten mukaisesti. Näin menetellen pyrittiin saamaan yleiskuva heterotrofisten bakteerien määrän- ja lajisuhteista.

Eri näytteistä tutkitut bakteeriryhmät ja käytetyt kasvalustat esitetään yhteenvetona taulukossa 3.

Kokeiden perustamisvaiheessa otettujen näytteiden avulla selvitettiin maan ravinnetilannetta ja pH:ta. Janakkalan kokeelta määritykset toistettiin 11 v. myöhemmin (liite 1). Tammelan kokeelta analysoitiin karike-, humus- ja kivennäismaanäytteiden ravinnepitoisuus ja pH jokaisen näytteenotokerran yhteydessä (liite 2). Kaikista karike-, humus- ja kivennäismaanäytteistä määritettiin pH_{vesi}, kokonaistyyppi, helppoliukoinen fosfori sekä vaihtuva kalsium ja kalium; Tammelan kokeen kivennäismaanäytteistä näiden lisäksi orgaaninen aines (Halonen ja Tulkki 1981).

Tammelan kokeella seurattiin lämpösumman kertymistä 5 cm syvyydessä maassa 18.4.—9.9.1973 välisenä aikana. Vastaavalta ajalta kerätyt sade- ja lämpötilahavainnot perustuivat Tammela-Mustialan ilmastoaseman mittauksiin. Maaveden jännitys mitattiin 10.6.—9.9.1973 välisenä aikana tensiometreillä 5 cm syvyydestä (Ahti 1971) (liite 3). Taimien pituuskehitystä seurattiin Janakkalan kokeella 10 v. ajan (liite 4). Tammelan kokeella osa taimista istutettiin keväällä 1973, osa keväällä 1974. Kokeen inventoinnissa v. 1983 eri vuosina istutettuja taimia ei erotettu (liite 5).

2.3 Tilastolliset menetelmät

Muokkauskokeilta kerättyjä osa-aineistoja tarkasteltiin varianssi-, kovarianssi- ja faktorianalyysin avulla. Kivennäismaa-aineistossa testattiin luokittelevien tekijöiden (muokkaustapa, kalkitus/lannoitus, näytteenotossyvyys ja ajankohta) vaikutusta bakteeriryhmien koon vaihteluihin vertaamalla keskiarvopareja Tukey'n testillä 5 % ja 1 % riskitasolla (P). Vastaavasti testattiin muokkaustavan ja kalkituksen vaikutusta orgaanisen

aineen hajotukseen Janakkalan kokeella. Orgaanisen kerroksen aineistossa tarkasteltiin bakteeriryhmien koon vaihtelua kalkituksen/lannoituksen ja näytteenottoajankohdan suhteen. Tammelan kokeen aineistossa tarkasteltiin kovarianssianalyysin avulla ilmasto- ja maaperämuuttujien (lämpösomma ja sademäärä, maan ravinnetilanne ja pH) merkitystä bakteeriryhmien koon suhteen. Lopuksi Tammelan kokeen aineistosta laskettiin 3 faktorin faktoriratkaisut (Voss-Lagerlund 1976).

3. TULOKSET

3.1 Janakkalan koe

Maan pH

Suurin kalkkiannos, eli 2000 kg/ha, kohotti pH:ta selvästi vain humuskerroksessa, missä se oli noussut yhden pH-yksikön verran (kuva 1). Koalueen kivennäismaan pH oli suhteellisen korkea: pintakerroksessa keskimäärin 5,0 ja 10—20 cm syvyydessä 5,3. Kun kalkituksesta oli kulunut 11 vuotta, pH oli 2000 kg kalkkia saaneilla koaloilla 0—10 cm kerroksessa keskimäärin 5,2. Saman kalkkimäärän vaikutusta ei 10—20 cm syvyydessä ollut todettavissa. Eri näytteenotokertoihin perustuvaa vertailua haittaa luonnollisesti tuloksiin sisältyvä otantavirhe.

Humuskerroksen bakteeripopulaatio

Kalkitus ei vaikuttanut merkitsevästi humuskerroksen bakteerien kokonaismäärään. Syynä lienee, että mahdolliset kalkin aiheuttamat muutokset olivat pääasiassa kvalitatiivisia. Tähän viittaa mm. se, että runsaslukuinen sädesienipopulaatio oli kalkituksen johdosta vielä selvästi aktivoitunut, mikä todennäköisesti oli tapahtunut vähemmän kilpailukykyisten bakteeriryhmien kustannuksella. Kalkitus humuksessa ammonifioivia bakteereita oli keskikesällä selvästi enemmän (P=5 %) kuin alku- ja loppukesällä. Sen sijaan kalkitsemattomassa humuksessa niiden määrä pysyi verraten samanlaisena koko kasvukauden aikana (kuva 2).

Kivennäismaan bakteeripopulaatio

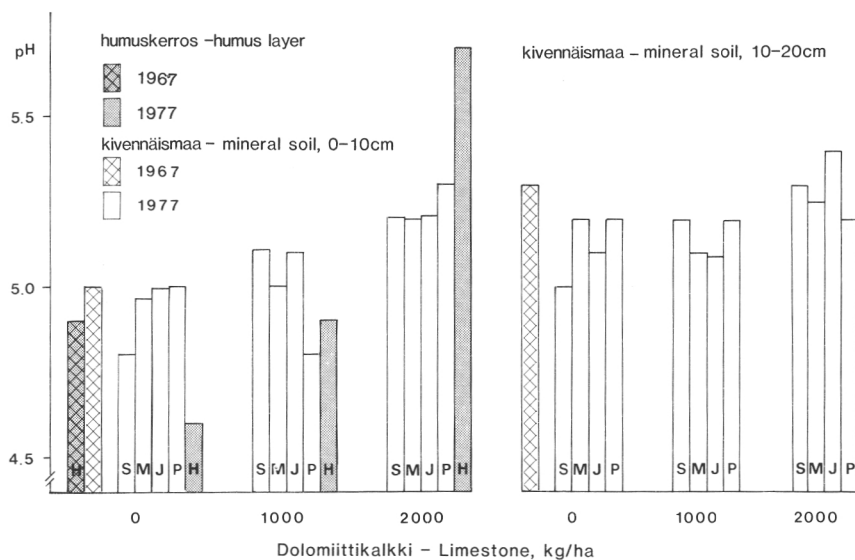
Muokkaamaton kivennäismaa

Bakteeritiheyden vaihtelu oli kivennäismaan pintakerroksessa pieni kalkituksesta huolimatta (kuva 3). Toisaalta bakteereita oli keskikesällä muokkaamattomassa maassa 10—20 cm syvyydessä selvästi vähemmän kalkituilla koaloilla kuin kalkitsemattomilla (P = 1 %). Bakteerien kasvudynamiikka tutkimuskauden aikana oli näillä koaloilla kuitenkin hyvin samanlainen kuin tehokkaasti muokatuilla koaloilla.

Muokkaamattoman kivennäismaan ammonifioiva bakteeripopulaatio oli pieni alun alkaen, eikä sen suuruuteen vaikuttanut kalkitus sen enempää kuin sään vaihtelu kasvukauden aikana. Sen sijaan sädesienet reagoivat positiivisesti kalkitukseen molemmissa maakerroksissa (P = 5 %).

Jyrsitty humuskerros ja kivennäismaa

Tällä muokkausmenetelmällä humuskerros ja kalkki sekoittuivat perusteellisesti kivennäismaahan, mikä johti biologisen aktiivisuuden vilkastumiseen. Kalkituksen vaikutus oli todettavissa varsinkin 10—20 cm:n kerroksessa, jossa bakteerimäärien erot kalkitustasojen (2000, 1000 kg/ha) välillä olivat suuret (P = 1 %). Kalkitus korosti bakteereille ominaisia populaatiohuippuja kasvukauden alussa ja lopussa. Kalkitsemattomilla koaloilla bakteeriryhmien määrasuhteet muuttuivat vain vähän kasvukauden aikana.



Kuva 1. Humuskerroksen ja kivennäismaan pH Janakkalan kokeella perustamisvuonna 1967 ja 11 v. kalkituksesta. Lyhenteet: H = humuskerros, S = jyrstetty humuskerros ja kivennäismaa, M = muokkaamaton maa, J = jyrstetty kivennäismaa, P = paljastettu kivennäismaa.

Fig. 1. The pH of the humus and mineral soil layers at the time of establishment in 1967, and 11 years after liming. Janakkala. Abbreviations: H = humus layer, S = rotary tilled humus and mineral soil, M = untreated soil, J = rotary tilled mineral soil, P = exposed mineral soil.

Ammonifioiva bakteeriryhmä oli suurimmillaan loppukesällä, jolloin se oli selvästi suurempi ($P = 1\%$) kuin alkukesällä, eikä kalkitus näyttänyt aktivoivan sitä. Kalkkinosti varsin merkitsevästi ($P = 1\%$) neutrofiilisten sädesienten määrää hapanta kasvuympäristöä suosivien sienten kustannuksella (kuva 4a). Kuitenkin tämä orgaanisen aineksen hajoituksessa tärkeä ryhmä esiintyi kivennäismaassa aktiivisena koko kasvukauden ajan vain suurimman kalkkiannoksen (2000 kg/ha) saaneilla koelajoilla (kuva 4b).

Jyrstetty kivennäismaa

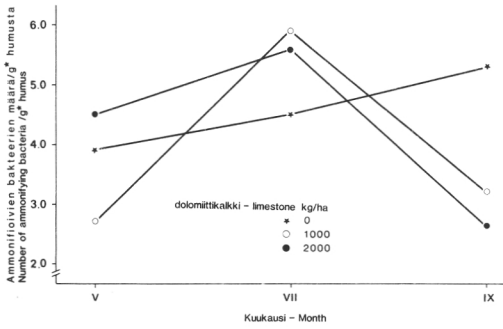
Humuskerroksen poistaminen ennen jyrstintää vaikutti oleellisesti kasvualustan biologiseen tilaan. Kalkitsemattomien koelajojen kivennäismaassa ei todettu muutoksia bakteeritiheydessä kasvukauden aikana. Kalkkiannoksen ollessa 1000 kg/ha, bakteerien kokonaismäärä väheni heinäkuussa merkitsevästi ($P = 1\%$). Annettaessa kalkkia 2000 kg/ha sillä oli selvästi positiivinen vaikutus kasvukauden lopussa etenkin 10–20 cm maakerroksessa.

Ammonifioivan bakteeripopulaation positiivinen reaktio kalkitukseen korostui selvästi kasvukauden edetessä (kuva 5). Syksyllä ammonifikaatiopotentiaali oli huomattavasti parempi kalkitussa kuin kalkitsemattomassa maassa ($P = 1\%$).

Jyrstityn kivennäismaan pintakerroksessa tavattiin sädesieniä vain 2000 kg/ha kalkkia saaneilla koelajoilla. Niitä oli 10–20 cm syvyydessä myös kalkitustasolla 1000 kg/ha, mutta selvästi vähemmän ($P = 1\%$), ja kalkitsemattomassa maassa populaatio aktivoitui tässä maakerroksessa vasta syksyä kohti (kuva 6). Mikrosienifragmentteina määritetty sienipopulaatio oli erittäin paljon suurempi kuin sädesienipopulaatio kalkitsemattomassa pintamaassa. Kalkin vaikutus sieniin oli kuitenkin verraten lievä sädesienten vahvasti positiiviseen reaktioon verrattuna.

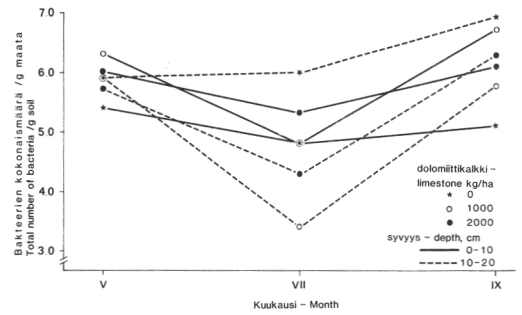
Paljastettu kivennäismaa

Tällä koelajenellä kalkki jäi sekoittumattomana kivennäismaan pinnalle. Tulokset osoittivat, että bakteerien kokonaismäärä ja ammonifioivien bakteerien määrä pysyivät



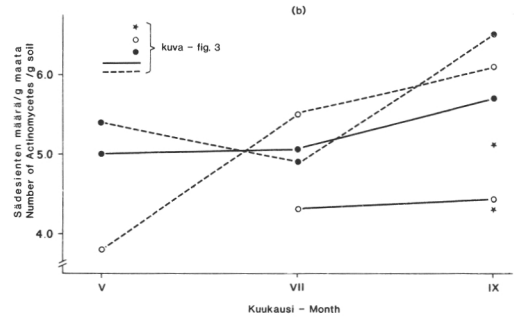
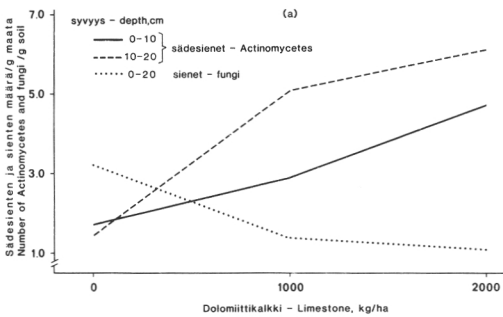
Kuva 2. Ammonifioivien bakteerien määrä humuskerroksessa kalkitustasoittain Janakkalan kokeella, Ku-
vissa 2-7, 10, 11 tulos ilmaistu ln-muunnoksena/g
uunikuivaa näytettä.

Fig. 2. The number of ammonifying bacteria in the humus
layer given different doses of limestone. Janakkala.
The results in Figs. 2-7, 10 and 11 are expressed as ln
values/g oven-dry sample.



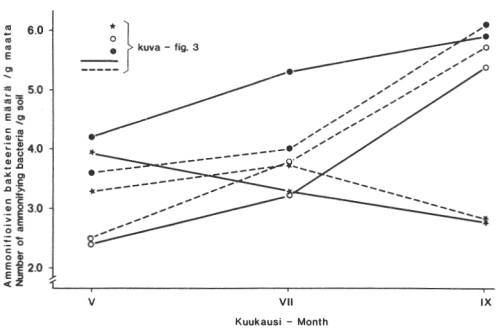
Kuva 3. Bakteerien kokonaismäärä kalkitustasoittain
muokkaamattomassa kivennäismaassa 0-10 cm ja
10-20 kerroksissa Janakkalan kokeella.

Fig. 3. The total number of bacteria in the 0-10 and 10-
20 cm mineral soil layers in the untreated plots given
different doses of lime. Janakkala.



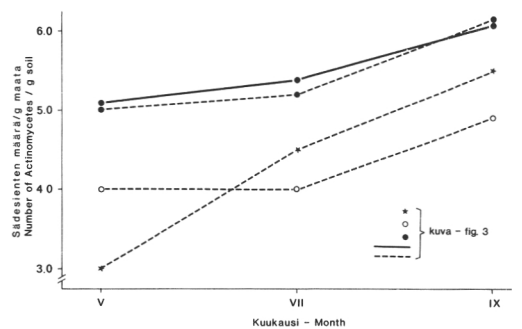
Kuva 4. Sädesienten ja sienten (a) sekä sädesienten määrä (b) kalkitustasoittain 0-10 cm ja 10-20 cm kerroksissa, kun humuskerros ja kivennäismaa on sekoitettu jyrsimällä Janakkalan kokeella.

Fig. 4. The number of (a) Actinomycetes and fungi and (b) Actinomycetes in the 0-10 and 10-20 cm mineral soil layers. Different doses of lime have been used and the humus and mineral soil has been mixed by rotary tilling. Janakkala.



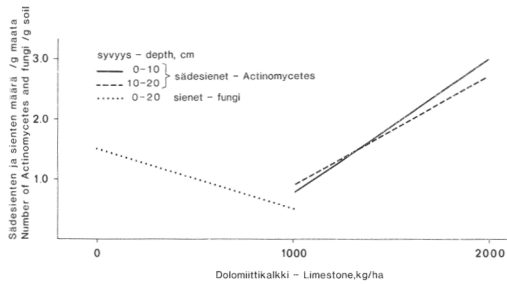
Kuva 5. Ammonifioivien bakteerien määrä jyrstyssä
kivennäismaassa kalkitustasoittain 0-10 ja 10-20
cm kerroksissa Janakkalan kokeella.

Fig. 5. The number of ammonifying bacteria in the 0-10
and 10-20 cm mineral soil layers. Different doses of
lime have been used and the mineral soil has been
rotary tilled. Janakkala.



Kuva 6. Sädesienten määrä kalkitustasoittain jyrstyssä
kivennäismaassa 0-10 cm ja 10-20 cm kerroksissa
Janakkalan kokeella.

Fig. 6. Number of Actinomycetes in the 0-10 cm and 10-
20 cm layers of the rotary tilled mineral soil. Different
doses of lime have been used. Janakkala.



Kuva 7. Sädesienten ja sienten määrä kalkitustasoittain humuskerroksesta paljastetussa kivennäismaassa 0–10 cm ja 10–20 cm kerroksissa Janakkalan kokeella.
 Fig. 7. Number of fungi and Actinomycetes in the 0–10 cm and 10–20 cm layers of the mineral soil exposed by removing the humus layer. Different doses of lime have been used. Janakkala.

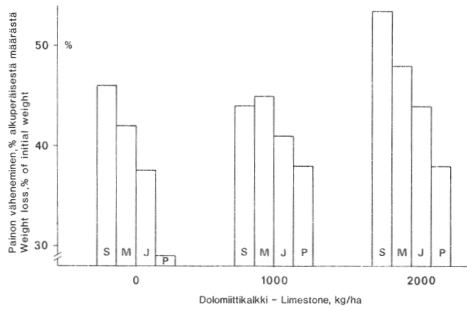
lähes muuttumattomina kasvukauden aikana kalkituksesta riippumatta.

Sädesieniä havaittiin vasta keskikesän jälkeä kalkituilla koelaloilla, mutta populaation suuruudessa oli varsin pieniä vaihteluja kasvukauden loppuun saakka. Kalkkiannoksen ollessa 2000 kg/ha sädesienten määrä kummassakin kivennäismaakerroksessa oli merkittävästi suurempi verrattuna muihin kalkitustasoihin (P = 1 %). Sieniä oli kalkitsemattomilla koelaloilla, mutta kalkituksen (1000 kg/ha) jälkeen ne näyttivät hävinneen sädesienten lisääntyessä voimakkaasti (kuva 7).

Karikkeen ja selluloosan hajoitus

Karike

Kalkituksella yksin ei ollut selvää vaikutusta karikkeen hajoamiseen 8 kk koejakson jälkeen. Kalkitsemattomilla koelaloilla sen sijaan muokkaustavan vaikutus karikkeen hajoamiseen oli ilmeinen. Hajoitusaktiiviteetti oli selvästi parempi koelaloilla, joilla humuskerros oli jyrsimellä sekoitettu kivennäismaahan kuin humuksesta paljastetussa kivennäismaassa. Karikkeesta hajosi 8 kuukaudessa kalkitsemattomilla koelaloilla keskimäärin 38 % ja kalkkia (2000 kg/ha) saaneilla 46 % (kuva 8). Silti kalkituksella yksin ei näyttänyt olevan niin ratkaisevaa vaikutusta karikkeen hajoamisnopeuteen kuin muokkaustavalla.



Kuva 8. Karikkeen hajoaminen 8 kk aikana kalkitustasoittain Janakkalan kokeella. Lyhenteet: S = jyrsimällä humuskerros ja kivennäismaa, M = muokkaamaton maa, J = jyrsimällä kivennäismaa, P = paljastettu kivennäismaa.

Fig. 8. Decomposition of the litter during a period of eight months following application of different doses of lime. Janakkala. Abbreviations: S = rotary tilled humus and mineral soil layers, M = untreated soil, J = rotary tilled mineral soil, P = exposed mineral soil.

Hajoitus oli nopeinta, n. 53 %, koelaloilla, joissa humuskerros oli sekoitettu maahan; humuksesta paljastetulla kivennäismaalla hitainta, vain n. 30 %. Kalkkimäärän ollessa 1000 kg/ha kariketta oli hajonnut suunnilleen yhtä paljon kaikilla muokkauskäsittelyillä, keskimäärin 40 %.

Selluloosa

Selluloosan hajoamisen etenemistä tarkastettiin 8, 12 ja 24 kk:n jälkeen. Eri muokkauskäsittelyiden välillä ilmeni selviä eroja koejakson aikana (taulukko 4). Sen sijaan kalkituksella ei ollut merkittävää vaikutusta enää 8 kk:n koejakson jälkeen. Jyrsimällä tehokkaasti muokatuilla koelaloilla selluloosa hajosi selvästi nopeammin kalkitsemattomilla kuin kalkituilla koelaloilla. Humuksesta paljastetussa kivennäismaassa kalkitus (2000 kg/ha) oli sen sijaan edistännyt hajoamista. Selluloosaa hajosi samassa ajassa suhteellisesti vähemmän kuin kariketta (kuvat 9a ja 8). Vuoden aikana selluloosasta hajosi keskimäärin yli puolet käsittelystä riippumatta (kuva 9b). Kahden vuoden jälkeen se oli kokonaan tai lähes kokonaan hajonnut jyrsimällä koelaloilla kalkitustasosta riippumatta. Kalkitsemattomilla ja kalkkia 1000 kg/ha saaneilla koelaloilla, joissa humuskerros oli

jiyritytty kivennäismaahan, oli selluloosa niinkään hajonnut täysin. Hajoaminen oli heikointa humuksesta paljastetussa, kalkitsemattomassa kivennäismaassa, sillä 8 kk:n kuluessa selluloosasta oli hajonnut vain n. 10 % ja 2 vuoden kuluessa n. 80 %. Myös muokkaamattomassa maassa hajotus oli edennyt hitaasti ilman kalkitusta. Tällä koejäsenellä selluloosasta oli vielä n. 10 % jäljellä kokeen päättyessä (kuva 9c).

3.2 Tammelan koe

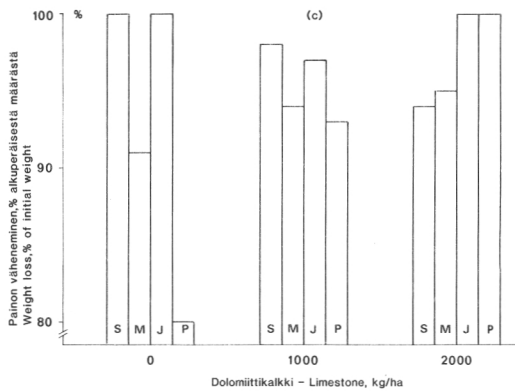
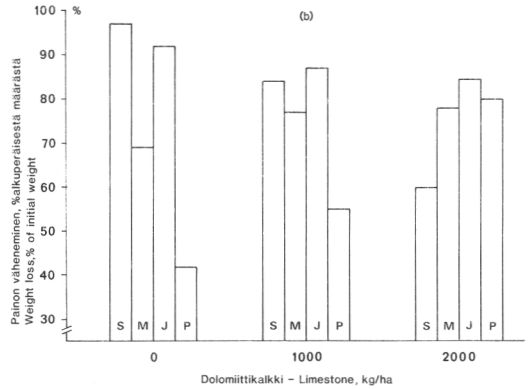
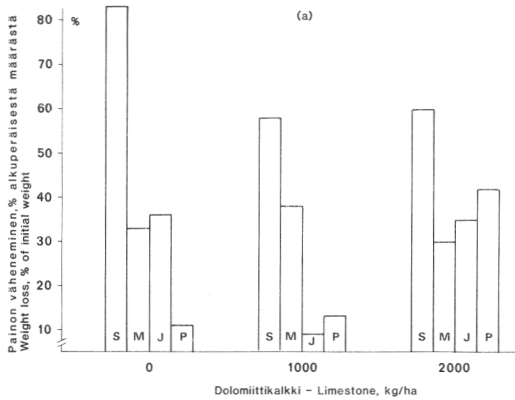
Maan pH

Hidasliukoinen tuomaskuona ei vaikuttanut merkittävästi humuskerroksen ja kivennäismaan pH-arvoon; ensimmäisen kasvukauden aikana muutokset olivat korkeintaan 0,5 pH-yksikköä. Tuomaskuona-annoksen ollessa 3000 kg/ha, karikerroksen pH oli kuitenkin noussut n. 1,5 pH-yksikköä (liite 2).

Taulukko 4. Muokkausjäsenien välisten erojen merkitsevyys selluloosan hajoituskokeessa eri kalkitustasoilla Janakkalan kokeella. Lyhenteet: S = jyritytty humuskerros ja kivennäismaa, M = muokkaamaton maa, P = paljastettu kivennäismaa, J = jyritytty kivennäismaa. Merkitsevyys: * = 5 %, ** = 1 %.

Table 4. Statistical significance of the differences between the soil preparation treatments at different liming levels in the cellulose decomposition experiment at Janakkala. Abbreviations: S = rotary tilled humus and mineral soil layers, M = untreated soil, P = humus removed from above mineral soil, J = rotary tilled mineral soil. Statistical significance: * = 5 %, ** = 1 %.

Dol. kalkki, kg/ha Dolomite limestone	Kokeen kesto (kk) Duration of experiment (months)		
	8	12	24
0	S—M**	S—M**	S—P**
	S—J**	S—P**	M—P**
	S—P**	M—P**	P—J**
	M—P*	M—J**	
1000	P—J*	P—J**	
	S—M*	S—P**	
	S—P**	M—P*	
	S—J**	P—J**	
2000	M—P**		
	M—J**		
	S—M**		
	M—J*		



Kuva 9. Selluloosan hajoaminen 8 kk (a), 12 kk (b) ja 24 kk (c) aikana kalkitustasoittain Janakkalan kokeella. Lyhenteet: ks. kuva 8.

Fig. 9. Decomposition of cellulose during 8 months (a), 12 months (b) and 24 months (c) after applying different doses of lime. Janakkala. See Fig. 8 for explanation to abbreviations.

Taulukko 5. Luokittelevien muuttujien merkitsevyys bakteerimäärien suhteen Tammelan kokeen karike- ja humuskerroksessa sekä kivennäismaassa. Merkitsevyys: * = 5 %, ** = 1 %, *** = 0,1 %.

Table 5. Statistical significance of the stratified variables with respect to the size of the bacterial groups in the litter, humus and mineral soil layers at Tammela. Statistical significance: * = 5 %, ** = 1 %, *** = 0,1 %.

Näyte Sample	Karikerros Litter layer				Humuskerros Humus layer				Kivennäismaa Mineral soil layer					
	Näytteenotto- aika		Lannoitus		Näytteenotto- aika		Lannoitus		Näytteenotto- aika × muokkaus		Näytteenotto- syvyys × muokkaus		Näytteenotto- syvyys × muokkaus	
	F	(df)	F	(df)	F	(df)	F	(df)	F	(df)	F	(df)	F	(df)
Bakteerien kokonaismäärä Total number of bacteria	6,40*	(4,8)	5,90*	(2,8)	3,85*	(4,8)	—		2,59*	(8,16)	9,29**	(2,16)	12,93***	(2,16)
Ammonifioivat bakteerit Ammonifying bacteria	30,44***	(4,8)	—		11,60**	(4,8)	—		—		—		—	
Proteolyttiset bakteerit Proteolytic bacteria	—		5,68*	(2,8)	—		—		—		—		—	
Kitinolyttiset bakteerit Chitinolytic bacteria	11,56**	(4,8)	19,84***	(2,8)	8,75**	(4,8)	4,49*	(2,8)	—		—		—	

Karike- ja humuskerroksen bakteeripopulaatio

Näytteenottoajankohtaan mennessä kertynyt maan lämpösusma vaikutti hyvin selvästi ammonifioivien ja kitinolyttisten bakteerien määriin, mutta myös bakteerien kokonaismäärään (taulukot 5, 6). Ammonifioivien bakteerien kasvudynamiikka oli varsin erikoinen (kuva 10a). Etenkin humuksessa tämä bakteeriryhmä oli kasvukauden alussa pieni, mutta se kasvoi voimakkaasti ja pysyi sitten suhteellisen muuttumattomana kasvukauden loppuun saakka. Tuomaskuonannoituksen ei voitu todeta vaikuttaneen suoraan ammonifikaatiobakteerien määrään. Välillisesti tämä todennäköisesti kuitenkin heijastui ravinteiden mineralisoinnissa lämpösusman kertymisen myötä, koska yli 80 % tämän bakteeriryhmän vaihtelusta selittyi karikerroksen ravinnetekijöiden avulla (taulukko 7).

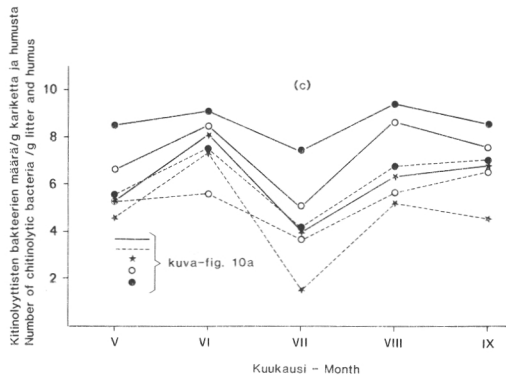
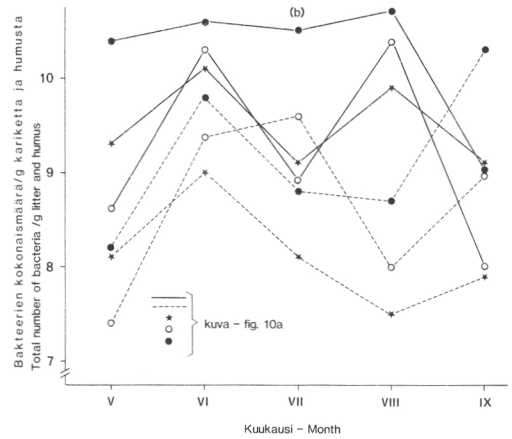
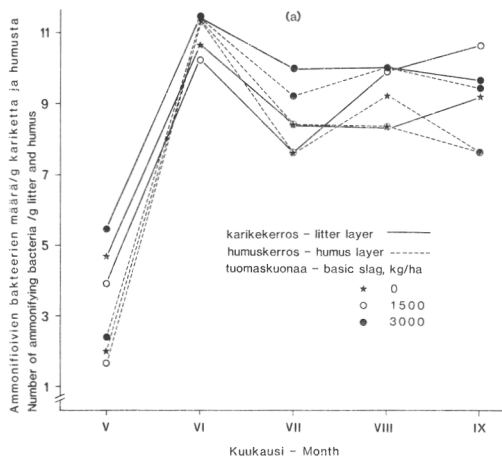
Karikkeessa bakteerien kokonaismäärä oli pienin keskikesällä. Sen sijaan humuksessa bakteereja oli elokuun lopussa yhtä vähän kuin tutkimuksen alkaessa toukokuussa (kuva 10b). Biologisen aktiivisuuden ja karikkeen hajoamisen kannalta oli merkittävää, että käytettäessä tuomaskuonaa 3000 kg/ha karikerroksen bakteeripopulaatio pysyi suurena myöhäiskesään saakka. Humuskerroksessa lannoituksella ei ollut tällaista vaikutusta (taulukko 5).

Kitiinin hajoittajista ylivoimaisesti suurimman ryhmän muodostavilla sädesienillä on verraten korkea pH-optimi. Tuomaskuonannoituksen lannoitus- ja kalkitusvaikutus lisäsi selvästi kitinolyttisten bakteerien määrää sekä karikettä humuskerroksessa (kuva 10c, taulukko 5). Etenkin humuksessa näiden bakteerien aktivoituminen näytti riippuvan pH:sta (taulukko 6). Kasvukauden säästä johtuva vaihtelu kevään ja syksyn tyypillisine populaatiohuippuineen havaittiin selvimmin tässä bakteeriryhmässä.

Kivennäismaan bakteeripopulaatio

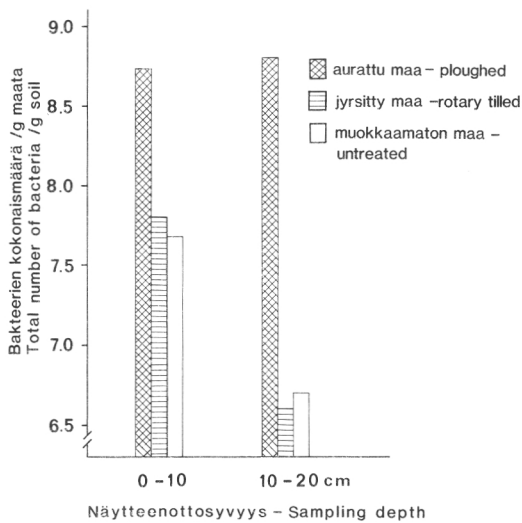
Kivennäismaassa bakteerien kokonaismäärän vaihtelusta yli puolet (55,8 %) selittyi ilmastotekijöillä, joiden heijastuminen kivennäismaan biologiseen tilaan vaihteli muokausmenetelmittäin (taulukot 5, 6, 7).

Auratuilla koaloilla bakteerimäärien vaihtelut olivat pienempiä kuin jyrskyillä ja muokkaamattomilla koaloilla näytteenotto-
syvydestä riippumatta. Tutkimusjakson lopussa lämpösusman kertymä auraspaltees-
sa (1640 dd) oli lähes kaksinkertainen verratuna jyrskyyn maahan (930 dd), jolla kosteus-
suhteet eivät kuitenkaan olleet niin äärevät kuin auraspaltees-
ssä (liite 3).



Kuva 10. Ammonifioivien bakteerien määrä (a), bakteerien kokonaismäärä (b) ja kitinolyttisten bakteerien määrä (c) orgaanisessa maakerroksessa lannoitustasoinnain Tammelan kokeella.

Fig. 10. Number of ammonifying bacteria (a), total number of bacteria (b) and number of chitinolytic bacteria (c) in the humus layer with different doses of basic slag. Tammela.



Kuva 11. Bakteerien kokonaismäärä muokkauksittain kivennäismaassa 0-10 cm ja 10-20 cm kerroksissa Tammelan kokeella.

Fig. 11. Total number of bacteria in the 0-10 cm and 10-20 cm layers of the mineral soil with different soil preparation treatments. Tammela.

Kivennäismaassa biologisesti aktiivinen kerros on suhteellisen ohut. Organisen kerroksen ja kivennäismaan sekoittuminen keskenään auratuilla koelaitoilla lisäsi biologista aktiivisuutta 20 cm syvyyteen saakka (kuva 11). Tuomaskuonanalannoituksen johdosta bakteerien määrä kasvoi voimakkaasti maan pintakerroksessa ja tehokkaan muokkauksen ansiosta lannoituksen antama biologinen hyöty vielä voimistui. Jyrsintäkäsittely ei tässä suhteessa poikennut sanottavasti muokkaamattomasta koelaitosesta.

Faktoriratkaisu

Organisen kerroksen ja kivennäismaan biotistien ja abiotistien tekijöiden vuoro-suhteiden tulkintaa selkeytettiin vastaavien aineistojen korrelaatioiden ja faktorien avulla (taulukot 9, 8). Kummallekin aineistolle laskettiin 3 faktorin faktoriratkaisu. Mallien selitysaste oli suhteellisen hyvä; karike- ja hu-

Taulukko 6. Ilmasto- ja maaperämuuttujien merkitsevyys bakteerimäärien suhteen Tammelan kokeen karike- ja humuskerroksessa sekä kivennäismaassa. Merkitsevyys: * = 5 %, ** = 1 %, *** = 0,1 %.

Table 6. The statistical significance of weather and soil factors with respect to the size of the bacterial groups in the litter, humus and mineral soil layers at Tammela. Statistical significance: * = 5 %, ** = 1 %, *** = 0,1 %.

Näyte ja bakteeri-ryhmä <i>Sample and bacterial group</i>	I			II			
	Lämpösumma, dd <i>Temperature sum</i>	Sademäärä, mm <i>Precipitation</i>	pH <i>pH</i>	Kokonais-N % <i>Total N</i>	Helppoliukoinen P, mg/100 g <i>Easily-soluble P</i>	Vaihtuva Ca, mg/100 g <i>Exchangeable Ca</i>	Vaihtuva K, mg/100 g <i>Exchangeable K</i>
Karikerros <i>Litter layer</i>							
Ammonifioivat bakteerit <i>Ammonifying bacteria</i>	**	—	—	**	*	**	—
Proteolyttiset bakteerit <i>Proteolytic bacteria</i>	—	—	—	—	*	*	—
Kitinolyttiset bakteerit <i>Chitinolytic bacteria</i>	**	—	—	—	—	—	—
Humuskerros <i>Humus layer</i>							
Bakteerien kokonaismäärä <i>Total number of bacteria</i>	—	—	*	—	**	—	—
Ammonifioivat bakteerit <i>Ammonifying bacteria</i>	**	—	—	—	—	—	—
Proteolyttiset bakteerit <i>Proteolytic bacteria</i>	*	—	—	—	—	—	*
Kitinolyttiset bakteerit <i>Chitinolytic bacteria</i>	—	—	**	—	—	—	—
Kivennäismaa <i>Mineral soil</i>							
Bakteerien kokonaismäärä <i>Total number of bacteria</i>	***	*	—	—	—	—	—
Ammonifioivat bakteerit <i>Ammonifying bacteria</i>	—	—	—	—	—	—	*

musaineistossa 77,5 %, kivennäismaa-aineistossa 87,8 %. Faktorien osuudet aineistojen kokonaisvaihtelusta olivat vastaavasti 47,8 %, 19,5 %, 10,2 % ja 51,3 %, 18,6 %, 17,9 %.

Orgaaninen kerros

Faktori 1

Tämä aineiston kokonaisvaihtelun kannalta tärkein faktori ilmentää toisaalta orgaanisen kerroksen pH:n merkitystä, toisaalta tuomaskuonallannoituksen mukana tähän kerrokseen tulleen kalsiumin ja fosforin positiivista vaikutusta bakteerien määräsuhteisiin ja toimintaan (ks. taulukko 6).

Faktori 2

Toiseen faktoriin sisältyvät ilmastotekijät sekä bakteeriryhmistä etenkin ne, jotka osallistuvat tyyppiyhdisteiden mineralisaatioon. Sademäärän ja maan lämpösumman merkitys ravinteiden mineralisaatioon osallistuvien bakteeriryhmien keskinäisiin suhteisiin osoittautui suureksi (ks. taulukko 6). Tärkeimpänä esiintyy ammonifioivien bakteerien ryhmä, jonka aktiivisuus eräänlaisena pioneeripopulaationa orgaanisen aineen hajoitusprosessissa todettiin myös aikaisemmassa yhteydessä (kuva 10a).

Taulukko 7. Muuttujaryhmien I, II, III selitysasteet %:eina ko. aineiston kokonaisvaihtelusta Tammelan aineistossa.

Table 7. Amount (in %) of total variation explained by factor groups I, II and III in the Tammela material.

Näyte Sample Bakteeriryhmä Bacterial group	Karikekerros Litter layer			Humuskerros Humus layer			Kivennäismaa Mineral soil layer		
	I ^{a)}	II	III	I	II	III	I	II	III
Bakteerien kokonaisuus Total number of bacteria	37,6	45,8	68,9	62,8	57,1	82,1	55,8	45,8	62,6
Ammonifioivat bakteerit Ammonifying bacteria	73,5	82,3	85,5	60,9	19,4	91,5	27,9	30,5	36,5
Proteolyttiset bakteerit Proteolytic bacteria	56,8	79,1	86,0	61,5	38,5	88,7	—	—	—
Kitinolyttiset bakteerit Chitinolytic bacteria	61,5	55,1	76,3	40,1	36,7	70,3	—	—	—

a) Ks. taulukko 6, III = muuttujat yhdistetty samaan malliin

a) See Table 6, III = variables combined in the same model

Faktori 3

Orgaanisen kerroksen pH ja ravinteiden keskinäiset suhteet heijastuvat biologisessa aktiivisuudessa ja ravinteiden mineralisaatiossa. Faktorissa 3 painottuvat toisaalta pH ja metsämaassa usein minimitekijänä esiintyvä tyyppi, toisaalta eräät tyyppiyhdisteiden kiertoon osallistuvista bakteeriryhmistä. Tyypeä lukuunottamatta yksittäisten ravinteiden puute metsämaassa on vaikeasti osoitettavissa. Vaikka kalium onkin tässä faktorissa vahvasti painottuneena (ks. taulukko 6), se tuskin esiintyy rajoittavana tekijänä, vaan todennäköisemmin mineralisoituvan orgaanisen aineen eräitä keskeisiä ominaisuuksia kuten pH:ta sekä fosfori- ja ligniinipitoisuutta kuvaavana tekijänä.

Kivennäismaa

Faktori 1

Ensimmäisessä, ylivoimaisesti tärkeimmässä faktorissa kuvastuu kivennäismaan yleinen biologinen tila. pH:n vaikutus heijastuu bakteerien määräsuhteissa, joilla osaltaan on vaikutusta ravinteiden mineralisaatioprosessissa. Faktorissa painottuvat maan pH ja ravinnepitoisuudet, bakteeripopulaatio kokonaisuudessaan sekä ammonifikaatiobakteerit. Vaikka tuomaskuonan kalki-

tusvaikutusta kivennäismaan pH:n nousuun ei voitu selvästi osoittaa, niin kalsiumin välitön vaikutus maan biologiseen aktiivisuuteen oli silti ilmeisesti tärkeämpi kuin tuomaskuonan hidasliukaisen fosforikomponentin (taulukko 9b).

Faktori 2

Toisen faktorin osuus aineiston kokonaisvaihtelusta on likipitään yhtä suuri kuin viimeisen faktorin. Yksittäisten muuttujien heikokkosta painottumisesta huolimatta tämä, kuten ensimmäinen faktori, osoittaa pH:n ja ravinnetilan vuorovaikutusta bakteerien esiintymistiheyteen.

Faktori 3

Kolmas faktori on varsinainen ilmastofaktori, jossa kuvastuu biologisten tunnusten kytkeminen lämpösummaan ja sademäärään. Näiden vaikutus kivennäismaassa ei ollut yhtä suuri tutkittujen bakteeriryhmien koon vaihtelujen suhteen kuin karike- ja humuskerroksessa (taulukko 7). Aurauksen todettiin lieventävän sääolosuhteista johtuvia jyrkkiä muutoksia bakteerimäärissä kasvukauden aikana. Tämä lienee eräs selitys vastaavien faktorien selitysasteiden eroon.

Taulukko 8. Tammelan kokeen orgaanisen kerroksen (a) ja kivennäismaan tunnuksiin (b) perustuvat faktoriratkaisut. Ko. faktoria parhaiten kuvaavat muuttujat alleviivattuina. Lataukset ilmoitettu kahdella desimaalilla.

Table 8. Factor solutions based on (a) parameters for the organic layer and (b) for the mineral soil layer in the Tammela experiment. The variable best describing the factor in question is underlined. Loadings are given in two decimals places.

a. Orgaaninen kerros — a. Organic layer	Faktorit — Factors			b. Kivennäismaa — Mineral soil	Faktorit — Factors		
	1	2	3		1	2	3
1 Lämpösumma, dd <i>Temperature sum</i>	-12	<u>91</u>	21	1 Lämpösumma, dd <i>Temperature sum</i>	12	21	<u>-81</u>
2 pH <i>pH</i>	<u>88</u>	-06	<u>35</u>	2 pH <i>pH</i>	<u>-79</u>	<u>28</u>	26
3 Sademäärä, mm <i>Precipitation</i>	00	<u>73</u>	-02	3 Sademäärä, mm <i>Precipitation</i>	-05	-02	<u>82</u>
4 Kokonais-N, % <i>Total N</i>	13	-06	<u>87</u>	4 Kokonais-N, % <i>Total N</i>	<u>93</u>	-10	-02
5 Helppoliukoinen P, mg/100 g <i>Easily-soluble P</i>	<u>88</u>	-10	24	5 Helppoliukoinen P, mg/100 g <i>Easily-soluble P</i>	<u>53</u>	<u>24</u>	21
6 Vaihtuva Ca, mg/100 g <i>Exchangeable Ca</i>	<u>89</u>	-14	25	6 Vaihtuva Ca, mg/100 g <i>Exchangeable Ca</i>	<u>81</u>	<u>32</u>	04
7 Vaihtuva K, mg/100 g <i>Exchangeable K</i>	35	08	<u>80</u>	7 Vaihtuva K, mg/100 g <i>Exchangeable K</i>	<u>89</u>	<u>24</u>	00
8 Bakteerien kokonaismäärä ^{x)} <i>Total number of bacteria</i>	<u>71</u>	29	28	8 Orgaaninen aines <i>Organic matter</i>	<u>94</u>	-04	-04
9 Ammonifioivat bakteerit <i>Ammonifying bacteria</i>	22	<u>83</u>	02	9 Bakteerien kokonaismäärä ^{x)} <i>Total number of bacteria</i>	<u>65</u>	<u>30</u>	<u>50</u>
10 Bakteerien kokonaismäärä <i>Total number of bacteria</i>	<u>62</u>	19	<u>59</u>	10 Ammonifioivat bakteerit <i>Ammonifying bacteria</i>	<u>52</u>	<u>27</u>	<u>37</u>
11 Proteolyttiset bakteerit <i>Proteolytic bacteria</i>	37	<u>46</u>	<u>65</u>				
12 Kitinolyttiset bakteerit <i>Chitinolytic bacteria</i>	<u>83</u>	30	03				

x) Ks. taulukko 3, viitteet 1—2 — See Table 3, references 1—2.

x) Ks. taulukko 3, viitteet 1—4 — See Table 3, references 1—4.

3.3 Käsittelyjen vaikutus puuston kasvuun

Janakkalan koe

Loppuinventointitulosten mukaan (liite 4) todettiin, että puuston keskipituus oli merkittävästi suurempi ($P = 1\%$) muokatuilla koealoilla verrattuna laikutettujen koealojen puuston keskipituuteen. Kasvu oli selvästi paras humuskerroksesta paljastetussa, jyrityssä kivennäismaassa. Ero oli merkittävä ($P = 5\%$) verrattuna käsittelyyn, jossa toisaalta humuskerros ja kivennäismaa oli sekoitettu, toisaalta käsittelyyn, jossa kivennäismaan pinta oli paljastettu. Kalkituksella ei ollut merkittävää vaikutusta.

Tammelan koe

Tämän kokeen, pääosiltaan 11-vuotiaan puuston loppuinventointitulosten mukaan (liite 5) todettiin, että valtapuiden pituus oli suurin muokatuilla koealoilla. Ero oli toisaalta merkittävä ($P = 5\%$) vain auratuilla koealoilla verrattuna muokkaamattomiin koealoihin. Tuomaskuonalannoitus ei millään tasolla ollut vaikuttanut positiivisesti puuston pituuskasvuun. Päinvastoin oli lannoittamattomien ja 3000 kg/ha tuomaskuonaa saaneiden koealojen välillä merkittävä ($P = 5\%$) ero lannoittamattoman puuston hyväksi.

Taulukko 9. Käytettyjen tunnusten korrelaatiomatriisi Tammelan kokeen orgaanisen kerroksen (a) ja kivennäismaan (b) aineistosta.

Table 9. Correlation matrix of the parameters for (a) organic layer and (b) mineral soil in the Tammela experiment.

a. Orgaaninen kerros — a. Organic layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Lämpösumma Temperature sum	1.000											
2 pH pH	-.051	1.000										
3 Sademäärä, mm Precipitation	.685	.031	1.000									
4 Kokonais-N, % Total N	.162	.441	.054	1.000								
5 Helppoliukoinen P, mg/100 g Easily-soluble P	-.053	.859	-.040	.355	1.000							
6 Vaihtuva Ca, mg/100 g Exchangeable Ca	-.083	.904	.002	-.425	.959	1.000						
7 Vaihtuva K, mg/100 g Exchangeable K	.181	.635	.095	.652	.459	.490	1.000					
8 Bakteerien kokonaismäärä ^{x)} Total number of bacteria	.201	.598	-.003	.295	.601	.566	.398	1.000				
9 Ammonifioivat bakteerit Ammonifying bacteria	.724	.136	.323	-.021	.121	.058	.173	.446	1.000			
10 Bakteerien kokonaismäärä Total number of bacteria	.162	.689	.009	.460	.585	.560	.637	.735	.301	1.000		
11 Proteolyttiset bakteerit Proteolytic bacteria	.444	.468	.199	.444	.428	.339	.626	.673	.470	.819	1.000	
12 Kitinolyttiset bakteerit Chitinolytic bacteria	.098	.724	.324	.161	.574	.625	.408	.632	.361	.588	.421	1.000

x) Ks. taulukko 3, viitteet 1—4 — See Table 3, references 1—4.

b. Kivennäismaa — b. Mineral soil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Lämpösumma Temperature sum	1.000									
2 pH pH	-.210	1.000								
3 Sademäärä, mm Precipitation	.482	-.099	1.000							
4 Kokonais-N Total N	.041	-.728	-.025	1.000						
5 Helppoliukoinen P, mg/100 g Easily-soluble P	-.044	-.204	-.132	.380	1.000					
6 Vaihtuva Ca, mg/100 g Exchangeable Ca	.118	-.415	-.018	.698	.652	1.000				
7 Vaihtuva K, mg/100 g Exchangeable K	.113	-.659	-.092	.809	.411	.747	1.000			
8 Orgaaninen aines Organic matter	.134	-.738	-.066	.898	.448	.727	.773	1.000		
9 Bakteerien kokonaismäärä ^{x)} Total number of bacteria	.224	-.292	-.352	.549	.457	.623	.593	.540	1.000	
10 Ammonifioivat bakteerit Ammonifying bacteria	-.061	-.224	-.251	.382	.247	.413	.522	.432	.628	1.000

x) Ks. taulukko 3, viitteet 1—2 — See Table 3, references 1—2.

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Janakkalan koe

Tällä kokeella kivennäismaan pH oli jo luontaisesti melko hyvä (pH 5,2), eikä kalkitus nostanut sitä oleellisesti. Humuskerroksen pH oli sen sijaan vielä 11 v. kalkituksen (2000 kg/ha) jälkeen yhden pH-yksikön korkeampi kuin koetta perustettaessa.

Kalkituksen ei todettu vaikuttaneen merkittävästi humuskerroksen bakteerien kokonaismäärään, mikä saattoi johtua siitä, että kalkilla on sekä kvantitatiivinen että kvalitatiivinen vaikutus (Black 1968). Ammonifikaatiobakteerit lisääntyivät kasvukauden alussa, mutta kalkituksen ja sääolosuhteiden yhteisvaikutuksen johdosta tämä kehitys muuttui jyrkkään laskuun keskikesän jälkeen (kuva 2). Kalkilla oli selvästi positiivinen vaikutus sädesienten aktiivisuuteen humuskerroksessa. Sama todettiin kivennäismaassa eri muokkauskäsittelyillä missä sädesienet olivat lisääntyneet sienipopulaation kustannuksella kalkkiannoksen kasvaessa, mikä esim. Czerney ja Mai'n (1970) mukaan suurelta osin selittyy sädesienten korkeammalla pH-optimilla (esim. kuvat 4b, 7).

Verrattaessa eri muokkausmenetelmiä keskenään bakteerien aktivoitumisen kannalta havaittiin, että mitä tehokkaampi muokaus sitä selvempi oli myös kalkin vaikutus erityisesti suurimmilla annoksilla (esim. kuvat 4a, 5, 6). Tämä johtui sekä kalkin pH:ta kohottavasta vaikutuksesta että hajoituskelpoisen aineksen sekoittumisesta kivennäismaahan ja lämpö- ja kosteusolosuhteiden muuttumisesta. Heterotrofiset ammonifikaatiobakteerit, jotka lisääntyivät merkittävästi kalkkitason noustessa esim. jyrskyillä koelaloilla, pystyvät käyttämään hyväksi erittäin pieniä määriä ammoniumtyyppiä. Autotrofiset nitrifikaatiobakteerit taas pystyvät heikosti kilpailemaan metsämaissa yleensä niukasti käytettävissä olevasta ammoniumtyypistä (Jones ja Richards 1977), samalla kun happamuus rajoittaa niiden toimintaa (Zöttl 1960, Adams ja Attiwill 1982). Campbell ja Biederbeck'in (1982) mukaan ammonifioivat bakteerit eivät reagoi kovin herkästi kasvu-

kauden lämpötila- ja kosteusvaihteluihin. Kalkitus näytti kuitenkin herkistäneen tätä ryhmää sään vaihteluille (kuva 2).

Bakteereille tyypillinen kasvudynamiikka kasvukauden alussa ja lopussa tavattavine huippuineen (Campbell ja Biederbeck 1976, Martyniuk ja Wagner 1978) havaittiin useimmilla koelaloilla (kuva 3). Bakteeripopulaation pieneneminen kasvukauden keskivaiheilla merkitsee myös mineralisaatioprosessin hidastumista.

Orgaanisen aineksen hajoaminen riippuu sekä bakteerien määrä- ja lajisuhteista että niiden aktiivisuudesta (Black 1968). Bakteerien, sädesienten ja sienten määrä- ja lajisuhteiden muuttuminen kalkituksen seurauksena on Fiedler ja Fiedler'in (1961) ja Mai ja Fiedler'in (1968, 1969) mukaan merkittävä maan orgaanisen aineen biologisen hajoituspotentiaalinn kannalta. Maan pH:n, lämpötilan ja kosteuden ohella tähän vaikuttaa ratkaisevasti hajoitettavan aineksen kemiallinen ja fysikaalinen koostumus (Ghilarov 1977, Swift ym. 1979). Ligniini, joka on karikkeen vaikeimmin hajoava komponentti, säätelää suurelta osin karikkeen hajoamisnopeutta (Berg ja Staaf 1980). Seuraamalla rinnan karikkeen ja 94,5 % α -selluloosan hajoitusta saatiin käsitys orgaanisen aineksen maksimaalisesta hajoitussensiteetistä eri koelaloilla.

Kun humuskerros oli sekoitettu kivennäismaahan, hajoitusnopeus oli hidastunut kalkkiannoksen kasvaessa päinvastoin kuin muokkaamattomilla koelaloilla (kuva 9a). Tämä viittaa lähinnä kvalitatiivisiin muutoksiin hajoitajapopulaatioissa. Käsitystä tukevat mm. Czerney ja Mai (1970), jotka osoittivat kalkin edistäneen selluloosan hajoitusta ja Jones ja Richards (1977), jotka osoittivat, että neulaskarikkeen sekoittaminen maahan aktivoi erittäin selvästi sienten kehittymistä, mutta jos maahan samalla sekoitettiin kalkkia bakteerien määrä kasvoi. Neutrofiilisten sädesienten ja muiden bakteerien määrä vähenee maassa syvemmälle mentäessä. Vastaavasti asidofiilisten mikro-organismien määrä ja merkitys hajoitustoiminnassa kas-

vaa (Orchard ym. 1977, Goodfellow ja Dawson 1978).

Kasvava kalkkimäärä näytti passivoittaneen hapanta ympäristöä paremmin sietäviä primäärihajoittajia. Toisaalta on Millar'in (1974) mukaan vasta varttuneen havumetsikön maassa pH se tekijä, josta hajoitusprosessiin osallistuvien mikro-organismien määrä- ja lajisuhteet ensisijaisesti määräytyvät. Mikolan (1960) mukaan eräissä Etelä-Suomen VT- ja MT-metsiköissä neulasten painon väheneminen oli n. 35 % ja koivun lehden 38—54 % 1 v:n jälkeen, 2 v:n jälkeen vastaavasti n. 52 % ja 55—68 %. Janakkalan kokeella voitiin osoittaa sekä kalkin että muokkauksen edistäneen hajoitustoimintaa. Karikkeen painon väheneminen oli jo 8 kk:n koejakson jälkeen n. 46 % (kuva 8), selluloosasta oli vuodessa hajonnut keskimäärin yli puolet.

4.2 Tammelan koe

Orgaanisen kerroksen biologisessa tilassa kuvastui selvästi vuotuinen dynamiikka. Karikekerroksessa bakteeritiheys laski heinäkuussa, humuskerroksessa vasta kuukautta myöhemmin. Biologinen toiminta humuksessa vilkastui sen jälkeen, kun se karikekerroksessa oli selvästi laantunut. Tuomaskuonannoitus (3000 kg/ha) ylläpiti koko kasvukauden aikana suurilukuista populaatiota karikekerroksessa, mutta humuksessa sen selvästi positiivinen vaikutus ilmeni vasta syyskuussa (kuva 10b).

Kitiini muodostaa luonnossa oleellisen osan hiilen biologisessa kierrossa. Sitä muodostuu jatkuvasti mm. sienten solusynteesissä, ja se hajoaa vain mikro-organismien toimesta (Goodfellow ym. 1968). Blumental ja Rose'n (1957) mukaan kitinolyttinen bakteeriryhmä koostuu pääasiassa sädesienistä. Laajan fysiologisen spektrinsä johdosta niiden määrävaihtelut heijastavat varsin hyvin orgaanisen kerroksen ravinteiden mineralisointipotentiaalia. Sädesienillä yleensä, kuten kitinolyttisilläkin, on muita bakteereita korkeampi pH-optimi. Tämä todettiin niiden selvästi suurempana määränä lannoiteilla koelohjoilla koko tutkimusjakson aikana (kuva 10c, taulukko 5).

Ammonifioivat bakteerit lisääntyvät erittäin nopeasti heti kasvukauden alusta (kuva

10a). Huomattava osa tämän ryhmän koon vaihtelusta selittyi karikkeen ravinnesisällön perusteella (taulukko 6). Ammonifikaatio, joka Guittet'in (1967) mukaan pääasiassa tapahtuu karike- ja humuskerrosten välisessä kerroksessa, jatkui varsinkin lannoitetuilla koelohjoilla ilman suurempia vaihteluita kasvukauden loppuun saakka.

Kivennäismaassa oli bakteerien kokonaismäärä näytteenottoisyvydestä riippumatta selvästi suurin aurajäljessä (kuva 11). Lannoitemääristä johtuvat erot pinta-kerroksen bakteerimäärissä olivat suuret, mutta vaikutus ei kuvastunut syvemmillä kivennäismaassa. Ammonifioivassa bakteeriryhmässä ei havaittu sellaisia merkitseviä muutoksia, jotka olisivat selittyneet käsitteilyn tai näytteenoton perusteella.

Faktoriratkaisujen (taulukko 8) tärkeimmät faktorit, "pH-faktorit", kattoivat n. puolet vastaavien aineistojen vaihtelusta. Niissä korostui pH:n ohella biologisen aktiivisuuden ja maan ravinnesisällön vuorovaikutus. Aktiivisen mikrobipopulaation hajoitustoiminnan jatkuvuus edellyttää, että mikro-organismeilla on tyyppien ohella myös runsaasti muita ravinteita saatavilla (taulukko 9). Mm. kalium painottui vahvasti orgaanisen aineiston faktoriratkaisussa. Sen tiedetään myös heijastavan orgaanisen aineen pH:ta sekä fosfori- ja ligniinipitoisuutta, vaikkei itsellään ole ratkaisevaa osaa mineralisaatioprosessissa (Swift ym. 1979).

Ilmastofaktori, joka vastasi n. 18 %:sta kivennäismaa-aineiston vaihtelusta, oli lähes yhtä tärkeä kuin orgaanisessa kerroksessa, jossa se vastaavasti kattoi lähes 20 % aineiston kokonaisvaihtelusta.

Kalkituksen vaikutus orgaanisen kerroksen biologiseen tilaan ei ole pelkästään positiivinen, vaikka se pääsääntöisesti edistää biologista aktiivisuutta. Typpiköyhillä kasvu-paikoilla kalkitus mahdollisesti rajoittaa puille käyttökelpoisen tyyppien saantia johtuen mikro-organismien ja juuriston välisestä kilpailusta tyyppien maan biologisen aktiivisuuden kasvaessa (Nömmik 1979). Ravinteiden mineralisaation kannalta saattaa kalkilla kuitenkin olla erilainen vaikutus kivennäismaahan sekoitettuna kuin humuskerrokseen levitetynä. Tamm ja Pettersson'in (1969) mukaan tyyppien mobilisaatio paranee kalkituksen jälkeen johtuen kivennäismaan korkeammasta pH:sta ja alhaisemmasta C/N-suhteesta.

4.3 Puuston kasvu

Kalkituksesta yksin johtuva positiivinen kasvureaktio puustossa on Tamm'in (1974) mukaan ollut vaikea osoittaa. Toisaalta eräissä saksalaisissa tutkimuksissa (Nebe 1972) esitetyt positiiviset kasvutulokset kalkituksen yhteydessä suoritetun täysmuokkauksen (ns. Vollumbruch) jälkeen, olisi osaksi selitettävissä tällaisen voimaperäisen käsittelyn välittömästä ja välillisestä vaikutuksesta maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin

ominaisuuksiin.

Tammelan kokeen puustomittaukset toivat ilmi, että vain aurauksella saavutettiin merkitsevästi parempi kasvutulos. Tuomas-kuonalannoituksen (3000 kg/ha) todettiin merkitsevästi hidastaneen puiden kasvua. Myös Janakkalan kokeella kivennäismaan muokkauksen positiivinen vaikutus oli varsin selvä verrattuna puiden kasvureaktioon laikutetuilla koealoilla. Kalkitus ei vaikuttanut männyn taimien kasvuun.

5. YHTEENVETO

Tutkimuksessa tarkasteltiin eri muokausmenetelmien ja kalkituksen tai tuomas-kuonalannoituksen vaikutusta maan biologisiin ominaisuuksiin. Aineiston maanäytteet kerättiin kahdelta muokkauksokeelta, joista toinen, joka sijaitsi Janakkalassa oli perustettu v. 1967 ja toinen, joka sijaitsi Tammelassa oli perustettu v. 1972—1973. Janakkalan kokeessa muokkaukäsittelyt olivat 1) jyrshintä, 2) humuksesta paljastetun kivennäismaan jyrshintä, 3) kivennäismaan paljastaminen ja 4) laikutus. Kalkitukseen käytettiin dolomiittikalkkia 0, 1000, 2000 kg/ha. Tammelan kokeessa käsittelyt olivat 1) auraus, 2) jyrshintä ja 3) muokkaamaton vertailu. Tätä koetta lannoitettiin tuomas-kuonalla annosten ollessa 0, 1500 ja 3000 kg/ha. Janakkalan kokeelta kerättiin näytteitä humuskerroksesta ja kivennäismaasta, Tammelan kokeelta lisäksi karikkekerroksesta koealojen ravinnetilan ja pH:n selvittämiseksi.

Janakkalan kokeella tutkittiin karikkeiden ja α -selluloosan hajoamista. Tammelan kokeella tehtiin lämpötila- ja sadehavaintoja sekä seurattiin lämpösomman kertymistä ja maaveden jännitystä tutkimuskauden aikana. Mikrobiologisiin määrittämiin näytteitä otettiin Janakkalan kokeelta v. 1977 ja Tammelan kokeelta v. 1973. Puusto loppuinventoitiin Janakkalan kokeella 10, Tammelan kokeella 11 v. istutuksen jälkeen.

Kivennäismaan pH oli Janakkalan kokeella keskimäärin 5,2, Tammelan kokeella keskimäärin 4,9. Kalkitus tai tuomas-kuonalannoitus ei merkitsevästi muuttanut tätä, jo luontaisesti melko hyvää tasoa. Mitattavissa

olevien vaihtelujen puuttuminen silti ei sulje pois pienempien pH-muutosten merkittävää vaikutusta maan biologiseen tilaan. Janakkalan kokeella oli humuskerroksen pH sen sijaan vielä 11 v. kalkituksen jälkeen (2000 kg/ha) n. 1 pH-yksikköä korkeampi kuin koetta perustettaessa (kuva 1). Tammelan kokeella karikkekerroksen pH oli n. 1,5 pH-yksikköä korkeampi lannoituksen jälkeen (3000 kg/ha) kuin koetta perustettaessa (liite 2).

Kalkituksen vaikutus maan orgaanisen kerroksen biologiseen tilaan kuvastui Janakkalan kokeella enemmän kvalitatiivisina kuin kvantitatiivisina muutoksina. Ammonifioiva bakteeriryhmä, kuten myös sädesienipopulaatio lisääntyi vahvasti ilmeisesti muiden bakteeriryhmien kustannuksella. Toisaalta kalkitus näytti herkistäneen ammonifikaatiopotentiaalia sään vaihteluille (kuva 2).

Tammelan kokeella sääolosuhteiden välitön vaikutus näytti olevan vähintään yhtä merkittävä kuin tuomas-kuonalannoituksella välillisesti aikaansaatu biologinen hyöty (taulukot 5, 6, 8). Lämpösomman kertymisen myötä ammonifikaatiopotentiaali nousi jyrkästi (kuva 10a). Kitinolyttisen bakteeriryhmän laajasta fysiologisesta spektristä johtuen sen määrävaihtelut kuvastavat hyvin orgaanisen kerroksen ravinteiden mineralisointipotentiaaliin vaikuttavia tekijöitä. Bakteereille tyypillinen kasvudynamiikka, jossa aktiivisuus laskee kasvukauden keskellä, oli tässäkin ryhmässä havaittavissa. Etenkin karikkekerroksessa tuomas-kuona näytti toimivan ”puskurina” sään aiheuttamia vaih-

teluita vastaan. Karikkeen hajoamisen kannalta oli merkittävää, että lannoitemäärän ollessa 3000 kg/ha, karikekerroksen bakteeripopulaatiossa ei tapahtunut suuria vaihteluja kasvukauden edetessä. Suuren lannoitemäärän selvästi positiivinen vaikutus humuskerroksessa ilmeni sen sijaan vasta syyskuussa (kuva 10b).

Mitä tehokkaampi muokkaus, sitä selvempi oli yleensä myös kalkin tai tuomaskuonan vaikutus bakteerien määräsuhteisiin. Tämä johtui sekä lämpö- että kosteusolosuhteiden ja pH:n muuttumisesta että hajoituskelpoisen aineksen sekoittumisesta kivennäismaahan. Muokkaamattomilla koaloilla olivat bakteerien määrävaihtelut kalkituksen huolimatta pieniä pintakerroksessa (kuva 3). Toisaalta kalkkiannoksen kasvaessa, muokkauksesta riippumatta, sädesienimäärä kasvoi selvästi happamuutta paremmin sietävien sienten kustannuksella (kuvat 4a, 7).

Orgaanisen aineen hajoituskokeessa todettiin huomattavasti intensiivisempää hajoitusaktiiviteettia muokatuilla ja kalkituilla kuin käsittelemättömillä koaloilla. Näillä koe-

aloilla hajosi keskimäärin 46 % karikkeesta 8 kk:ssa, muilla koaloilla n. 30 % (kuva 8). Myös α -selluloosan hajoitus oli hitain koskemattomassa ja kalkitseemattomassa maassa. Kalkin vaikutus toisaalta väheni hajoitusprosessin edetessä mikä osaltaan viittaa kvalitatiivisiin muutoksiin populaatiotasolla (kuvat 9a, b, c, taulukko 4).

Tammelan kokeella lämpösumman kertyminen oli lähes kaksinkertainen ja kosteus huomattavasti parempi mutta äärevämpi aurajäljessä kuin jyrskyillä tai muokkaamattomilla koaloilla, joilla myös bakteerien määrävaihtelut olivat suurempia (liite 3, kuva 11). Tuomaskuonalannoitteen hidasliukoisuudesta johtuen sen biologinen hyöty syvemmässä kivennäismaassa tehostui vasta tehokkaan muokkauksen yhteydessä.

Puustojen inventointimittausten perusteella todettiin selvästi suurempia keskipituuksia perusteellisesti muokatuilla koaloilla kuin muokkaamattomilla tai laikutetuilla koaloilla. Tuomaskuonalla (3000 kg/ha) oli selvästi heikentävä vaikutus, dolomiittikalkilla ei ollut vaikutusta puuston kasvuun.

KIRJALLISUUS

- Adams, M.A. & Attiwill, P.M. 1982. Nitrogen mineralization and nitrate reduction in forests. *Soil Biol. Biochem.* 14:197—202.
- Ahti, E. 1971. Maaveden jännityksen mittaaminen tensiometrillä. Summary: Use of a tensiometer in measuring soil water tension. *Folia For.* 112:1—10.
- Berg, B. & Staaf, H. 1980. Decomposition rate and chemical changes in decomposing needle litter of Scots pine. II. Influence of chemical composition. In "Structure and Function" of Northern Coniferous Forests. Ed. T. Persson. *Ecol. Bull.* 32. 373—390. Stockholm.
- Black, C.A. 1968. *Soil-Plant Relationships* (2:nd ed). John Wiley & Sons, New York. 419—452.
- Blumental, H.J. & Rose, S. 1957. Quantitative estimation of chitin in fungi. *J. Bact.* 74:222—224.
- Bååth, E., Lohm, U., Lundgren, B., Lundkvist, H., Söderström, B., Wiren, A. 1980. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. *Pedobiologia* 20:85—100.
- Campbell, C.A. & Biederbeck, V.O. 1976. Soil bacterial changes as affected by growing season weather conditions. A field and laboratory study. *Can. J. Soil Sci.* 56:293—310.
- & Biederbeck, V.O. 1982. Changes in mineral-N and numbers of bacteria and actinomycetes during two years under wheatfallow in south-western Saskatchewan. *Can. J. Soil. Sci.* 62:125—137.
- Czerney, P. & Mai, H. 1970. Bodenkundlich-chemische und mikrobiologische Untersuchungen an einer Kalkversuchsfläche auf dem Langen Berg. *Deutsch. Akad. Land w. Wiss.* 112:141—152.
- Fiedler, E. & Fiedler, H.J. 1961. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an einer Kalkungsversuchsfläche des Tharandter Waldes. *Arch. f. Forstw.* 10:733—751.
- Fiedler, H.J. & Hunger, W. 1963. Über den Einfluss einer Kalkdüngung auf Vorkommen, Wachstum und Närelementgehalt höherer Pilze im Fichtenbestand. *Arch. f. Forstw.* 12:936—962.
- Ghilarov, M.S. 1977. Why so many species and so many individuals can coexist in the soil. In "Soil Organisms as Components of Ecosystems". Eds. U. Lohm & T. Persson. *Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool. Ecol. Bull.* 25. Stockholm. 593—597.
- Goodfellow, M. & Cross, T. 1974. Actinomycetes. In "Biology of Plant Litter Decomposition". Eds. C.H. Dickinson & G.J.F. Pugh. *Acad. Press. London* 2:269—302.
- & Dawson, D. 1978. Qualitative and quantitative studies of bacteria colonizing *Picea sitchensis* litter. *Soil. Biol. Biochem.* 10:303—307.
- & Hill, I.R. & GRAY, T.R.G. 1968. In "The Ecology of Soil Bacteria". Eds. T.R.G. Gray and D. Parkinson. *Liverpool Univ. Press.* s. 505—515.
- Guittet, J. 1967. Composition et evolution de la litière de pins silvestres en peuplements ouverts sur

- pelouse xerophile. *Oecol. Pl.* 2:43—62.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työhöjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 36:1—23.
- Jansson, S.L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. *K. Lantbr. Högsk. Annlr.* 24.
- Jones, J.M. & Richards, B.N. 1977. Effect of reforestation on turnover of N-labelled nitrate and ammonium in relation to changes in soil microflora. *Soil Biol. Biochem.* 9:383—392.
- Küster, E. 1979. Bedeutung der Actinomyceten für den Abbau von Cellulose, Lignin und Huminstoffe im Boden. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 142:365—374.
- Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in Northern Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84(2):1—64.
- Lockhead, A.G. & Chase, F.E. 1943. Quantitative studies of soil micro-organisms. V. Nutritional requirements of the predominant bacterial flora. *Soil Sci.* 55:185—195.
- Mai, H. & Fiedler, H.J. 1968. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an einem Bestandesdüngungsversuch zu Fichte im Osterzgebirge I. *Arch. f. Forstw.* 17(11):1141—1153.
- & Fiedler, H.J. 1969. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an einem Bestandesdüngungsversuch zu Fichte im Osterzgebirge II. *Arch. f. Forstw.* 18(2):155—177.
- Martin, J.P. 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycine in the plate method for estimating fungi. *Soil Sci.* 69:215—232.
- Martyniuk, S. & Wagner, G.H. 1978. Quantitative and qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. *Soil Sci.* 125(6):343—350.
- Mikola, P. 1960. Comparative experiment on decomposition rates of forest litter in Southern and Northern Finland. *Oikos* 11:161—166.
- Millar, C.S. 1974. Decomposition of coniferous leaf litter. In "Biology of Plant Litter Decomposition". Eds. C.H. Dickinson and G.J.F. Pugh. *Acad. Press. London.* 1:105—128.
- Mischustin, E.N. 1978. Ecological variability of soil micro-organisms. In "Microbial Ecology". Eds. M.W. Loutit and J.A.K. Miles. *Springer, Berlin.* 105—109.
- Mälkönen, E. 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. *Forskn. stift. Skogsarb.* 6.
- Nebe, W. 1972. Langfristige Wirkungen reiner Kalkungen auf das Baumwachstum. *Beitr. f.d. Forstwirtschaft.* 1:17—21.
- Nömmik, H. 1968. Nitrogen mineralization and turnover in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) raw humus as influenced by liming. *9th Int. Congr. Soil Sci. Trans.* II(56):533—545.
- 1979. Vilken roll kan kalken spela i framtidens skogsbruk? I "Kalkningsbehov och kalkningsmedel för jord, skog och vatten-nuläge och utvecklingsmöjligheter". *K. Skogs- o. Lantbr. Akad. Tidskr. Suppl.* 13:31—33.
- Orchard, V.A., Goodfellow, M. & Williams, S.T. 1977. Selective isolation and occurrence of nocardiae in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9:233—238.
- Persson, J. 1974. Kalkproblemet för jord, skog och miljövård. I. *Jord. K. Skogs- o. Lantbr. Akad. Tidskr.* 113:31—36.
- Pessi, Y. 1970. Väkilannoitteet ja niiden käyttö peltoviljelyssä. *WSOY. Porvoo.* 205 s.
- Pochon, J. & Tardieux, P. 1962. Techniques d'analyses en microbiologie du sol. *Edit. de la Tourelle Saint-Mande.*
- Popovic, B. 1975. Influence of lime and phosphorus fertilizers upon accumulation of mineral nitrogen in incubation experiment of forest soil. *Akademija Nauka.* 23:135—153.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Seloste: Aurattujen alojen metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn.* 91(4):1—98.
- Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effects of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. *Seloste: Muokkauksen vaikutus pakusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Commun. Inst. For. Fenn.* 92(7): 1—36.
- Skerman, V.B.D. 1967. A Guide to the Identification of the Genera of Bacteria. *Williams & Wilkins Book Co. Baltimore.* 181—182.
- Swift, M.J., Heal, O.W. & Anderson, J.M. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *Studies in Ecology. Blackwell Sci. Publ. London.* 5:118—166.
- Tamm, C.O. 1974. Kalkproblemet för jord, skog och miljövård. II. *Skog. K. Skogs- o. Lantbr. Akad. Tidskr.* 113:37—43.
- & Pettersson, A. 1969. Studies on nitrogen mobilization in forest soils. *Stud. For. Suec.* 75:1—39.
- & Popovic, B. 1978. Försurningens inverkan på kväve mineralisering i skogsmark. *SNV Årsrapport.*
- Taylor, C.B. 1951. The nutritional requirements of the predominant bacteria of the soil. *Proc. Soc. Appl. Microbiol.* 14:101—111.
- Voss-Lagerlund, K. 1976. Effects of soil preparation on the bacterial population in forest soil. *Commun. Inst. For. Fenn.* 86(7):1—36.
- Williams, S.T. & Mayfield, C.I. 1971. Studies on the ecology of actinomycetes in soil. III. The behaviour of neutrophilic streptomycetes in acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 3:197—208.
- Zöttl, H. 1960. Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. III. pH-Wert und Mineralstickstoff-Nachlieferung. *Pl. Soil.* 13(3): 207—223.

Total of 49 references.

SUMMARY

Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming

The effect of different types of soil preparation, and liming or fertilization with basic slag, on the biological properties of the soil is examined in the study. The soil samples analysed were collected from two site preparation experiments, one established in 1967 at Janakkala (N61°2', E24°46') and the other in 1972—73 at Tammela (N60°43', E23°52') (Tables 1 and 2). The soil preparation treatments used in the experiment at Janakkala were 1) rotary tilling, 2) rotary tilling of the mineral soil after first removing the humus layer, 3) removal of the humus layer and 4) scalping. The untouched area between the scalped patches was used as the control. The following amounts of dolomite limestone were applied: 0, 1000 and 2000 kg/ha. The treatments used in the experiment at Tammela were as follows: 1) ploughing, 2) rotary tilling and 3) an untreated control. Basic slag fertilizer was used in this experiment: 0, 1500 and 3000 kg/ha. The treatments were carried out as three replications in both of the experiments. Samples were taken from the humus and mineral soil layers at Janakkala at the time as the experiment was established and again 11 years later. The nutrient contents and pH of the soil samples were measured. In addition to soil samples taken at corresponding times, litter samples were also taken at Tammela at the beginning of the experiment and on four other occasions throughout the course of the experiment (Appendices 1 and 2).

Litter decomposition was determined over a period of 8 months in the Janakkala experiment, and decomposition of cellulose over periods of 8, 12 and 24 months. The temperature, precipitation, accumulation of the temperature sum and the soil water potential were followed at Tammela throughout the course of the experiment. Samples were taken for microbiological determinations at Janakkala in 1977 and at Tammela in 1973. The tree stand was inventoried at Janakkala 10 years after the start of the experiment, and at Tammela after 11 years.

The pH of the mineral soil was rather good in both experiments, 5.2 on the average at Janakkala and 4.9 at Tammela. Neither liming nor fertilization with basic slag had any statistically significant effect on the pH of the mineral soil. However, owing to the fact that significant variations in the pH were not detected, the effect of smaller changes in pH on the biological status of the soil cannot be excluded. The pH of the humus layer 11 years after liming (2000 kg/ha) was about 1 pH unit higher than at the beginning of the experiment (Fig. 1). The pH of the litter layer at Tammela was about 1.5 pH units higher after fertilization (3000 kg/ha) than at the start of the experiment (Appendix 2). Slowly soluble basic slag did not have such a clear effect on the pH of the humus layer.

The effect of liming on the biological state of the organic layer in the Janakkala experiment was more evident as qualitative changes than as quantitative ones. There was a strong increase in the group of ammonifying bacteria, as was also the case right from the start for the abundant population of Actinomycetes. This presumably took place at the expense of other groups of bacteria. On the other hand, liming appeared to make the ammonification capacity more sensitive to fluctuations in the weather (Fig. 2).

The direct effect of the weather conditions appeared, in the case of the Tammela experiment, to be as significant as the indirect beneficial effect of basic slag on biological activity in the organic layer (Tables 5, 6 and 8). The ammonification capacity rose steeply in accordance with the accumulation in the temperature sum (Fig. 10a). Owing to the extensive physiological spectrum of the group of chitinolytic bacteria, the variations in the numbers of this group well depicted the factors affecting the mineralization capacity of the organic layer. The growth dynamics pattern typical of bacteria, which involves a decrease in activity in the middle of the growing season, was evident in this group (Fig. 10c). In the litter layer especially, basic slag appeared to act as a "buffer" against the variation caused by fluctuations in the weather. The biological activity of the humus layer did not decrease until August. As opposed to the situation in the litter layer, where the number of bacteria fell steeply, the recovery was rather clear in the humus layer. An interesting result as far as the decomposition of the litter was concerned, was the fact that the bacterial population in the litter layer, which had been large right from the start, did not exhibit any large variations during the course of the growing season when the amount of fertilizer applied was 3000 kg/ha. The clear positive effect of a large amount of fertilizer on the ratio in the numbers of different bacteria did not, on the other hand, become evident in the humus layer until September (Fig. 10b).

When the different soil treatment methods were compared in both experiments, it was found that the more intensive the type of soil treatment, the clearer in general was the effect of liming or the addition of basic slag on the ratios of the numbers of different bacteria, especially in the case of large amounts of fertilizer also deeper in the mineral soil layer (Figs. 4a, b and 11). This was due both to changes in the temperature and moisture conditions and in the pH, and to the mixing of decomposable material into the mineral soil layer (Tables 6—9). Despite liming, the changes in the numbers of bacteria were rather small on the untreated plots, especially in the surface layer (Fig. 3). On the other hand, when the amount of lime was increased,

independent of site preparation, the number of Actinomycetes clearly increased in the mineral soil layer at the expense of fungi which are better able to withstand acidity (Figs. 4a and 7).

The results of the decomposition experiment at Janakkala showed that the decomposition activity was considerably more intensive on the cultivated and limed plots. On the average, 46 % of the litter had decomposed within 8 months on these plots, while on the other plots only about 30 % (Fig. 8). The rate of decomposition of α -cellulose was also slower in the untreated and non-limed soil where about 20 % of the α -cellulose was still undecomposed after 24 months (Figs. 9a, 9b and 9c). On the other hand, the effect of liming decreased as decomposition progressed (Table 4). The rate of decomposition of the cellulose decreased already after 8 months on the treated plots when the liming dosage was increased. This, in turn, suggests that there were qualitative changes at the population level of the decomposer organisms.

In the Tammela experiment, the accumulation of the

temperature sum was almost double, and the moisture content considerably better although more extreme on the ploughed plots than on the rotary tilled or the untreated ones. The variations in the number of bacteria were also greater on the latter two types of plots (Appendix 3, Fig. 11). Fertilization with basic slag had a significant effect in the surface layer of the mineral soil (0—10 cm). However, this was not apparent at greater depths, presumably due to the slow solubility of this fertilizer. The beneficial effect of this fertilizer on the biological state of the soil did not become more apparent until it was given in conjunction with ploughing. The effect of rotary tilling on the bacterial number was comparable to the untreated soil (Fig. 11).

The results of the inventory carried out on the tree stand showed that the mean height of the trees on the thoroughly tilled plots was clearly greater than that on the untreated or scalped plots. Basic slag (3000 kg/ha) had a clearly detrimental effect, while lime had no effect on stand growth (Appendices 4 and 5).

Liite 1. Humuskerroksen ja kivennäismaan ravinteiden määrä (mg/100 g) Janakkalan muokkauskokeella perustettaessa v. 1967 sekä v. 1977.
Appendix 1. Nutrient contents (mg/100 g) of the humus and mineral soil layers at Janakkala at the time when the experiment was established in 1967, and in 1977.

Käsittely ja maakerros <i>Treatment and soil layer</i>	Vuosi <i>Year</i>	Dol.kalkki <i>Dolomite limestone kg/ha</i>	N	P	K	Ca
Muokkaamaton maa <i>Untreated soil</i>						
Humuskerros <i>Humus layer</i>	1967		615	6,6	39,9	322,1
	1977	0	655	6,9	27,2	287,7
		1000	686	6,0	31,2	495,6
		2000	770	9,1	31,8	633,6
Kivennäismaa <i>Mineral soil</i>						
0—10 cm	1967		94	0,9	8,1	29,0
10—20 cm			59	0,7	4,7	11,9
0—10 cm	1977	0	92	0,9	5,4	17,8
		1000	82	0,9	4,7	19,8
		2000	88	0,9	4,9	36,6
10—20 cm		0	61	0,5	3,4	9,3
		1000	52	0,6	3,4	9,6
		2000	86	0,7	4,5	7,1
Jyrsitty humuskerros ja kivennäismaa <i>Rotary tilled humus and mineral soil</i>						
0—10 cm	1977	0	144	0,8	6,4	35,1
		1000	167	0,7	10,5	61,1
		2000	123	0,7	5,1	49,7
10—20 cm		0	68	0,7	7,0	11,1
		1000	85	0,5	4,4	21,4
		2000	84	0,6	3,3	29,9
Jyrsitty kivennäismaa <i>Rotary tilled mineral soil</i>						
0—10 cm	1977	0	118	0,8	5,9	37,1
		1000	103	0,8	4,8	41,7
		2000	119	0,8	5,9	52,6
10—20 cm		0	65	0,6	3,7	24,4
		1000	70	0,6	3,6	16,6
		2000	67	0,5	3,3	20,8
Paljastettu kivennäismaa <i>Exposed mineral soil</i>						
0—10 cm	1977	0	89	0,8	4,9	33,1
		1000	116	0,9	5,2	44,2
		2000	97	0,6	4,7	43,8
10—20 cm		0	58	0,4	3,8	16,9
		1000	70	0,6	2,9	15,1
		2000	69	0,7	3,7	18,6

Liite 2. Orgaanisen kerroksen ja kivennäismaan ravinteiden määrä (mg/100 g) ja pH Tammelan muokkauskokeella v. 1973.

Appendix 2. Nutrient contents (mg/100 g) and pH of the humus and mineral soil at Tammela in 1973.

Käsittely <i>Treatment</i>	Aika <i>Time</i>	Tuomaskuona <i>Basic slag</i> kg/ha	N	P	K	Ca	C	pH
Muokkaamaton maa — <i>Untreated soil</i>								
Karikekerros <i>Litter layer</i>	toukokuu <i>May</i>		1292	47,2	78,3	63,6		4,7
	syyskuu <i>September</i>	0	1097	32,2	77,0	49,3		4,7
		1500	1002	52,3	90,3	93,8		5,2
		3000	1166	111,0 ¹⁾	109,1 ¹⁾	137,0 ¹⁾		6,2
Humuskerros <i>Humus layer</i>	toukokuu <i>May</i>		656	8,7	48,4	23,6		4,1
	syyskuu <i>September</i>	0	1054	17,9	49,1	32,4		3,9
		1500	1140	32,3	50,1	81,2		4,5
		3000	794	52,8	47,2	63,8		4,5
Kivennäismaa <i>Mineral soil</i>	toukokuu <i>May</i>		108 ²⁾	0,3	7,4	16,0	3410	4,6
	syyskuu <i>September</i>		79 ³⁾	0,2	2,7	6,2	1720	5,2
		0	168	0,6	11,8	31,9	5397	4,1
			97	0,2	3,7	5,7	2245	5,1
		1500	174	0,6	6,9	40,1	5515	4,5
			99	0,2	3,4	7,3	1863	5,1
		3000	154	1,3	8,4	76,0	3288	4,7
			87	0,2	4,3	5,7	2203	5,2
Muokattu maa — <i>Treated soil</i>								
Aurattu kivennäismaa <i>Ploughed mineral soil</i>	syyskuu <i>September</i>	0	182	0,5	12,4	54,6	5131	4,7
			184	0,4	12,7	35,1	4231	4,3
		1500	153	0,7	8,1	47,0	3847	5,0
			201	0,6	11,4	55,2	5404	4,6
		3000	160	1,8	12,1	111,5	3885	5,2
Jyrsitty kivennäismaa <i>Rotary tilled mineral soil</i>	syyskuu <i>September</i>	0	124	0,3	5,4	16,3	3316	5,0
			70	0,2	3,4	4,3	1696	5,2
		1500	132	0,4	4,8	27,8	3096	5,1
			76	0,2	2,5	5,9	1398	5,3
		3000	138	0,8	6,0	48,2	3782	5,1
			120	0,3	4,0	9,1	2935	5,0

1) elokuu — *August*

2) näytteenottoisyvyys — *sampling depth 0–10 cm*

3) näytteenottoisyvyys — *sampling depth 10–20 cm*

Liite 3. Ilman vuorokautinen keskilämpötila, sademäärä ja maaveden jännitys mittausjaksottain Tammelan kokeella. Lyhenteet: M = muokkaamaton maa, A = aurauspalle, J = jyrstetty maa.

Appendix 3. Daily mean air temperature, precipitation and soil water tension during the different measurement periods at Tammela. Abbreviations: M = untreated soil, A = ploughed ridge, J = rotary tilled soil.

	Keski- lämpötila °C <i>Mean temperature</i>	Sade- määrä, mm <i>Preci- pitation</i>	Maaveden jännitys cmHg <i>Soil water tension</i>		
			M	A	J
I 18.4.—15.5.73	5,0	37,4	—	—	—
II 18.5.—17.6.73	13,1	44,1	—	—	—
III 10.6.— 9.7.73	20,0	36,2	19,1	25,0	10,0
IV 14.7.—13.8.73	17,3	85,5	12,9	16,6	9,3
V 10.8.— 9.9.73	12,0	65,5	73,3	13,0	10,6

Liite 4. Taimien kuolleisuus ja keskipituus 5 v. kuluttua ja valtapuiden (1200 kpl/ha) keskipituus 10 v. kuluttua istutuksesta Janakkalan kokeella. Lyhenteet: S = jyrstetty humuskerros ja kivennäismaa, L = laikutus, P = paljastettu kivennäismaa, J = jyrstetty kivennäismaa.

Appendix 4. Mortality rate and mean height of the surviving seedlings five years after planting out, and the mean height of the dominant trees (1200/ha) after 10 years. Janakkala. Abbreviations: S = rotary tilled humus and mineral soil layers, L = scalping, P = exposed mineral soil, J = rotary tilled mineral soil.

Aika Time	Dol.kalkki Dolomite limestone kg/ha	Käsittely — Treatment			
		S	L	P	J
1967—1971		Kuolleisuus-% <i>Mortality rate</i>			
	0	8,4	22,3	12,5	9,0
	1000	7,3	17,9	19,1	6,5
	2000	3,7	27,3	12,4	11,9
1967—1971		Taimien keskipituus, cm <i>Mean height of seedlings</i>			
	0	95	78	101	109
	1000	95	76	92	99
	2000	97	76	95	105
1967—1976		Valtapuiden keskipituus, cm <i>Mean height of dominant trees</i>			
	0	276	252	292	304
	1000	277	247	279	294
	2000	291	247	279	306

Liite 5. Taimien kuolleisuus ja keskipituus 3—4 v. kuluttua ja valtapuiden (1200 kpl/ha) keskipituus 10—11 v. kuluttua istutuksesta Tammelan kokeella. Lyhenteet: M = muokkaamaton maa, A = aurattu maa, J = jyrsky maa.
Appendix 5. Mortality rate and mean height of the seedlings 3—4 years after planting, and the mean height of the dominant trees (1200/ha) 10—11 years after planting. Tammela. Abbreviations: M = untreated soil, A = ploughed soil, J = rotary tilled soil.

Aika Time	Tuomaskuona Basic slag kg/ha	Käsittely — Treatment		
		M	A	J
1973 — 1976		Kuolleisuus-% Mortality rate		
	0	25,1	28,7	18,2
	1500	15,9	22,5	9,6
	3000	32,2	29,8	19,7
1973 — 1976		Taimien keskipituus, cm Mean height of seedlings		
	0	36	48	46
	1500	37	49	48
	3000	35	46	49
1973 — 1983		Valtapuiden keskipituus, cm Mean height of dominant trees		
	0	304	406	352
	1500	292	387	367
	3000	267	329	341

ODC 114.6+181.65+237.1+237.4
ISBN 951-40-0677-1
ISSN 0015-5543

PALMGREN, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming. *Folia For.* 603: 1—27.

Liming increased the pH of the humuslayer but did not significantly change the pH of the mineral soil. The effect of liming on the biological state of the humus layer was more evident as qualitative than as quantitative changes. The more intensive the soil preparation treatment the more favourable was its effect on the numbers of soil bacteria of different groups. The effect of liming was, in general, clearly better when combined with intensive soil preparation.

The decomposition of organic material was considerably greater on the intensively prepared and limed plots. The mean height of the trees on the intensively prepared sites was clearly greater. Basic slag (at the 3000 kg/ha level) had a clearly negative effect, limestone had no effect at all on the growth of the stand.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Dept. of Soil Science, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ODC 114.6+181.65+237.1+237.4
ISBN 951-40-0677-1
ISSN 0015-5543

PALMGREN, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming. *Folia For.* 603: 1—27.

Liming increased the pH of the humuslayer but did not significantly change the pH of the mineral soil. The effect of liming on the biological state of the humus layer was more evident as qualitative than as quantitative changes. The more intensive the soil preparation treatment the more favourable was its effect on the numbers of soil bacteria of different groups. The effect of liming was, in general, clearly better when combined with intensive soil preparation.

The decomposition of organic material was considerably greater on the intensively prepared and limed plots. The mean height of the trees on the intensively prepared sites was clearly greater. Basic slag (at the 3000 kg/ha level) had a clearly negative effect, limestone had no effect at all on the growth of the stand.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Dept. of Soil Science, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, 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).

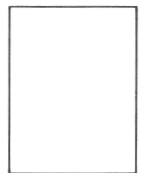
Nimi

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

- No 580 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Etelä- ja Keski-Suomen suomensät vuosina 1951—1981. Peatland forests in southern and Central Finland in 1951—1981.
- No 581 Sirén, Matti: Tutkimustuloksia Norcar HT-440 Turbo harvennustraktorista. Study results of Norcar HT-440 Turbo thinning tractor.
- No 582 Kohmo, Ilkka: Lehtipuuston runkolukusarjat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla 1977—1982. Statistics on the deciduous growing stock in the Forestry Board Districts of South Finland during the period 1977 to 1982.
- No 583 Saksa, Timo & Lyly, Olavi: Istutustiheyden vaikutus nuoren männikön kehitykseen kuivalla kankaalla. The effect of stocking density on the development of young Scots pine stands on a dry heath.
- No 584 Kalaja, Hannu: An example of terrain chipping system in first commercial thinning. Esimerkki ensiharvennuspuiden korjuusta palstahaketusmenetelmällä.
- No 585 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männikoissä. Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs.
- No 586 Hakkila, Pentti: Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Metsähake lämpölaitosten polttoaineena Suomessa.
- No 587 Jalkanen, Risto & Kurkela, Timo: Männynversoruosteen 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. inventoinnin 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 Metsätalastollinen 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 julkaisu 1983. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1983.
- No 596 Vuokila, Yrjö, Laasasenaho, Jouko & Ihalainen, Antti: Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus viljelykysymyksissä. 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 liittyvistä toimenpiteistä. Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures.
- No 600 Rubki uhoda. Rezultaty finsko-sovjetskogo sovmestnogo nautsnogo issledovanija. Harvennuspuiden 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.

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) 17 341