

Mika Nieminen ja Antti Pätilä

PUUSTON KASVU JA RAVINTEIDEN SAATAVUUS TURVEMAIDEN VANHOILLA KALKITUSKOKEILLA

The growth of Scots pine and the availability of nutrients in old Finnish liming experiments on drained peatlands

Nieminen, M. & Pätilä, A. 1994: Puuston kasvu ja ravinteiden saatavuus turvemaiden vanhoilla kalkituskokeilla. (Summary: The growth of Scots pine and the availability of nutrients in old Finnish liming experiments on drained peatlands). — Suo 45: 97–108. Helsinki. ISSN 0039-5471

Liming (with applications of 1 000 to 8 000 kg ha⁻¹) had no long-term (1929–1985) effect on the growth of Scots pine on drained oligotrophic peatlands. Liming plus NPK fertilization had a variable effect on the growth of the stands. The same treatment could result in a very different response in different experimental areas. Both liming alone and liming plus NPK fertilization increased the calcium, magnesium and nitrogen contents of peat and decreased the C/N ratio and acidity. Liming plus fertilization decreased needle boron and manganese and increased calcium and nitrogen concentrations. The results of peat and needle analysis indicated that the changes in nitrogen availability to trees caused by liming have not been sufficient enough to affect tree growth. It was also concluded that boron deficiency was the main reason for the lowered yield.

Key words: fertilization, needle nutrients, peat nutrients, *Pinus sylvestris*, tree growth

Mika Nieminen, The Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland; Antti Pätilä, The Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland

JOHDANTO

Hyvät kokemukset kalkituksesta maatalousmailla aiheuttivat sen, että kalkituskokeita alettiin perustaa myös metsiin. Maan happamuuden vähenemisen ja ravinteiden mobilisaation lisääntymisen kautta kalkituksen ajateltiin parantavan puuston kasvuoloja (esim. Lukkala 1951, Viro 1962).

Useat eri maissa tehdyt kalkituskokeet ovat kuitenkin osoittaneet, että vain harvoin kalkitus lisää puuntuotosta (Popovic ja Andersson 1984,

Derome ym. 1986). Useimmiten kalkituksen vaikutusta ei ole havaittu, tai puuston kasvu on pienentynyt. Alkuvuosien jälkeen puuston kasvun on kuitenkin todettu elpyvän (Meshechok 1971, Dickson 1984).

Todennäköisenä syynä negatiiviseen kasvureaktioon on pidetty kalkituksen aiheuttamaa typen puutetta (Meshechok 1968, 1971, Gardiner 1975, Kaunisto ja Norlamo 1976). Tämä saattaa aiheutua siitä, että kalkituksen vaikutuksesta lisääntyvä mikrobitoiminta kuluttaa kaiken vapautuvan typen

(esim. Kaunisto ja Norlamo 1976), tai siitä, että korkea kalsiumionikonsentraatio vähentää typen mobilisaatiota heikentämällä mikro-organismien elinoloja (Meshechok 1971). Myös kalkituksen aiheuttama mykorrhizasuhteiden muuttuminen saattaa heikentyneen ravinteiden oton seurauksena vähentää puuston kasvua (Lehto 1984). Mahdollisia syitä puuntuotoksen vähenemiseen ovat myös fosforin sitoutuminen kalsiumin kanssa vaikealiukoiseksi kasveille käyttökeltottomiksi yhdisteiksi, korkean kalsiumpitoisuuden aiheuttama kaliumin huuhtoutuminen (Holmen 1964) tai hivenravinteiden liukoisuuden muutokset (Valmari 1971). Varsinkin boorin saatavuuteen kalkitus vaikuttaa haitallisesti (Raitio 1979, Lipas 1990).

Suomessa tehdyt turvemaiden kalkituskokeet ovat myös osoittaneet puuston kasvun ainakin alkuvuosina hidastuvan tai pysyvän ennallaan (Lukkala 1951, Kaunisto 1982). Kalkituksen pitkäaikaisvaikutusta ei vielä voida kuitenkaan arvioida, vaikka vanhimmat turvemaiden kalkituskokeet perustettiin Vilppulan Jaakkoinnuolle jo v. 1929 (Derome ja Pätilä 1989).

Happaman laskeuman mahdollisesti aiheuttama maaperän happamoituminen on lisännyt mielenkiintoa kalkin käyttöön maanparannusaineena (Derome ja Pätilä 1989). Pätilän (1990) sekä Pätilän ja Niemisen (1990) tutkimustulokset kuitenkin osoittavat, että nykyisen tasoinen laskeuma ei aiheuta merkittäviä happamoitumishaittoja turvemaidella. Siten kalkin käyttö on yleensä perusteltua suometsissä vain, jos kalkitus lisää puuston

tuotosta. Suoalueiden kalkitseminen voisi tulla kyseeseen myös happamoitumishaittojen torjumiseksi vesistöissä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää ojitettujen turvemaiden vanhojen kalkituskokeiden perusteella kalkituksen pitkäaikaisvaikutuksia puuston kasvuun. Koekentillä on käytetty myös kaupallisia lannoitteita (N, P, K), joiden vaikutusta puuston kasvuun tutkitaan yhdessä kalkitusvaikutuksen kanssa. Lisäksi tarkastellaan kalkituksen vaikutusta ravinteiden saatavuuteen maa- ja neulasanalyysien perusteella.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Koalueet

Puustonmittaukset tehtiin neljällä koekentällä, joista kaksi sijaitsee Muhoksen Oksansuolla ja kaksi Vilppulan Jaakkoinnuolla. Koekenttien yleiskuvaus ilmenee taulukosta I.

Vilppula

Kalkki levitettiin koekentille 26.11.1929. Kentällä I kalkkimäärät olivat 0, 2 000, 4 000, 6 000 ja 8 000 kg ha⁻¹, kentällä II 0, 1 000, 2 000, 3 000 ja 4 000 kg ha⁻¹. Kummallakin kentällä oli kalkkiannoksen suhteen kaksi toistoa, mutta eri käsittelyryutuja ei ollut arvottu, vaan sijoitettu koekentille systemaattisesti. Kentältä I poistettiin mänty-yliispuusto kokeen perustamisvaiheessa, ja taimisto tasattiin siten, että alle 0,5

Taulukko I. Koekenttien yleiskuvaus.

Table 1. Basic information on experiments.

Kenttä <i>Experiment</i>	Suotyypä <i>Site type 1)</i>	Turpeen paksuus <i>Peat depth</i>	Ojitusvuodet <i>Ditching years</i>
Vilppula I	VIR	2,5 m	1909, 1915
Vilppula II	ITR	0,8 m	1909, 1925, 1954
Muhos 75-76 / I, II	ITR-TSR	0,5 m	1933, 1949, 1971, 1976
Muhos 80 / I, II	ITR-TSR	0,4-1,3 m	1933, 1950, 1956, 1971, 1976

- 1) VIR = Dwarf shrub pine bog
ITR = Dwarf shrub and cottongrass pine bog
TSR = Cottongrass-sedge pine fen

m:n pituiset männyn taimet jätettiin kasvamaan. Kentällä II puusto oli kokeen perustamisvaiheessa nuorta männyn kasvatusmetsää.

Muhos

Koekenttä 75-76 kalkittiin ja peruslannoitettiin 14.-15.6.1955 ja kenttä 80 21.-25.6.1956 (Taul. 2). Muhoksen koekentät avohakattiin ja uudistettiin 1950-luvulla. Kentällä 75-76 uudistamismenetelmät olivat männyn istutus v. 1953

ja ruutukylvö v. 1954. Kentälle 80 istutettiin männyn taimia v. 1957-58. Myös luontaisesti syntyneitä männyn taimia käytettiin uudistamisessa. Kaikissa Muhoksen kokeissa taimisto perattiin v. 1973. Kokeista puuttuvat toistot.

Puustomittaukset ja laskenta

Vilppulan koekentällä n:o I puuston kasvu laskettiin erotusmenetelmällä vuosien 1957,

Taulukko 2. Muhoksen Oksansuon kalkituskokeet.

Table 2. Fertilization and liming treatments at Muhos, Oksansuo.

Koekenttä /Koe Experiment	Koeruutu Sample plot	Peruslannoitus (1955-1956) Primary fertilization			Jatkolannoitus (1973) Refertilization		
		Hienofosfaatti	Kalisuola 1 kg ha ⁻¹	Kalkki	Oulunsal- pietari	Raaka- fosfaatti kg ha ⁻¹	Kalisuola 2
75-76/I	1	600	400	10 000	385	-	-
	2	600	400	8 000	385	-	-
	3	600	400	6 000	385	-	-
	4	600	400	4 000	385	-	-
	5	600	400	2 000	385	-	-
	6	600	400	1 000	385	-	-
	7	-	-	-	-	-	-
75-76/II	21	-	-	2 000	385	300	167
	22	-	-	4 000	385	300	167
	23	-	-	6 000	385	300	167
	24	-	-	8 000	385	300	167
	25	-	-	10 000	385	300	167
	26	-	-	-	-	-	-
80/I	24	600	400	1 000	385	-	-
	25	600	400	2 000	385	-	-
	30	600	400	4 000	385	-	-
	31	600	400	6 000	385	-	-
	36	600	400	8 000	385	-	-
	37	600	400	10 000	385	-	-
80/II	20	-	-	-	-	-	-
	23	-	-	2 000	385	300	167
	26	-	-	4 000	385	300	167
	29	-	-	6 000	385	300	167
	32	-	-	8 000	385	300	167
	35	-	-	10 000	385	300	167

Hienofosfaatti = Finely ground rock phosphate (14% P)
 Kalisuola 1 = Muriate of potash (38 % K)
 Kalkki = Limestone (25 % Ca, 11 % Mg)
 Oulunsalpietari = Ammonium nitrate with lime (26 % N)
 Raakafosfaatti = Rock phosphate (14% P)
 Kalisuola 2 = Muriate of potash (49,8 % K)

1964, 1977 ja 1983 puustomittausten perusteella.

Vilppulan koekentällä n:o II ja Muhoksen koekentillä koeruutujen puusto mitattiin ensimmäisen kerran v. 1986. Kaikki rinnankorkeudelta vähintään 4 cm paksut puut luettiin yhden senttimetrin tasaavalla luokituksella. Koepuita valittiin kultakin ruudulta 15 kappaletta tilavuuden suhteen optimaalista kiintiöintiä käyttäen. Koepuista mitattiin pituus sekä alaläpimitta ($d_{1,3}$). Lisäksi koepuut kairattiin rinnankorkeudelta.

Puustotunnukset ja vuosilustoihin perustuvat pohjapinta-alan kasvut laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koelajien peruslaskentaohjelmilla (Heinonen 1994). Muhoksen koekentillä alkuvuosien puuntuotosta ei voitu laskea, koska puut eivät kokeen alussa yltäneet rinnankorkeudelle.

Maa- ja neulasnäytteiden keruu ja analyysi

Turvenäytteet kerättiin Muhoksen kokeilta 10.–12.6.1986 ja Vilppulan kokeilta 23.–24.6.1986. Koeruuukohtaiset kokoomänäytteet koostuivat viidestä osänäytteestä, jotka otettiin koeruidun keskeltä ja lävistäjiltä 2 m:n etäisyydeltä koeruidun reunasta suon tasapinnasta. Näytteet otettiin laatikkomallisella näytteenottimella (4*5 cm²) viidestä kerroksesta (raakahumus, 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm ja 20–30 cm), ja yhdistettiin kerroksittain kokoomänäytteeksi.

Kokonaisravinnepitoisuudet määritettiin kuivatusta (70°C) ja jauhetusta turvenäytteestä kuivapolttomenetelmällä (Halonen ja Tulkki 1981) plasmaemissiospektrometrillä (ARL, ICP 3580). Kokonaistyyppi ja hiili määritettiin LECO CHN 600 -analysaattorilla. Turpeen pH mitattiin tuorenäytteestä (15 ml) ionivaihdetussa vedessä.

Tämän tutkimuksen turveanalyysiaineisto on osa Ekolan (1989) pro gradu -työn aineistoa. Tätä tutkimusta varten em. työn turveanalyysiä laskettiin koeruuukohtaiset keskimääräiset ravinnepitoisuudet koko 0–30 cm:n näytteenottokerrokselle.

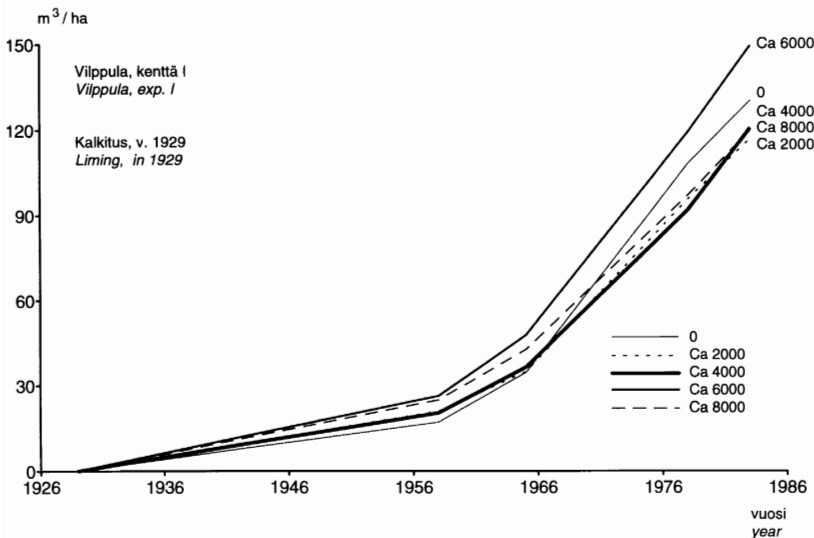
Muhoksen kokeilta kerättiin myös koeruuukohtaiset neulasnäytteet. Näytteet kerättiin 19.–20.3.1985 6–10 puusta/koeruuu ylimmästä oksakiehkurasta eteläpuoleisista oksista uusimmasta neulasvuosikerrasta. Näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksessa yleisesti käytetyillä menetelmillä (Halonen ja Tulkki 1981). Vilppulan koekentältä neulasnäytteitä ei kerätty.

TULOKSET JA TARKASTELU

Puuston kasvu

Vilppula I

Ensimmäisenä kalkituksen jälkeisenä 30–40 vuotena puuston kasvu oli kalkituilla ruuduilla suurempi kuin kontrolliruuduilla (Kuva 1).



Kuva 1. Puuston kasvu eri kalkitustasoilla Vilppulan kentällä I. Kalkitus v. 1929.

Fig 1. Volume growth after liming in 1929 at the Vilppula I experiment.

Eniten kalkkia saaneilla ruuduilla (6 000 ja 8 000 kg ha⁻¹) kasvu oli suurin. Myöhemmin puuston kasvu oli kontrolliruuduilla kuitenkin suurempi kuin kalkituilla ruuduilla.

Kokonaiskasvu oli suurin kalkitustasolla 6 000 kg ha⁻¹ ja ylitti n. 15% kontrolliruutujen puuston kasvun. Muilla kalkitustasoilla puuston kasvu oli kontrolliruutujen kasvua alaisempi.

Vilppula II

Kokeen alussa (v. 1929) kalkitusruutujen puuston pohjapinta-ala oli suurempi kuin kontrolliruuduilla (Kuva 2). Tarkastelujakson

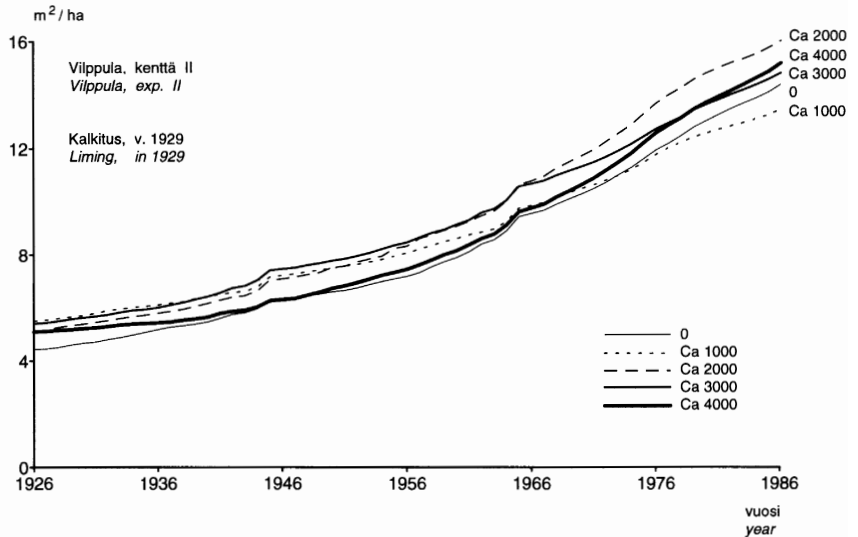
ajan ero kalkituskäsittelyjen ja kontrolliruutujen välillä säilyi suunnilleen samana lukuunottamatta kalkitustasoa 1 000 kg ha⁻¹, jolla puuston kasvu jäi alle nollaruutujen kasvun.

Muhos 75-76; Koe I

Kaikilla lannoitetuilla koeruuduilla puuston kasvu ylitti kontrolliruudun tuotoksen (Kuva 3). Jo pelkkä kalkitus ja PK-lannoitus lisäsivät puuston kasvua suhteessa kontrolliruutuun. N-jatkolannoitus lisäsi puuston kasvua varsinkin suurimmalla kalkitustasolla. Puuston kokonaiskasvu oli suurin kalkitustasolla 10 000 kg

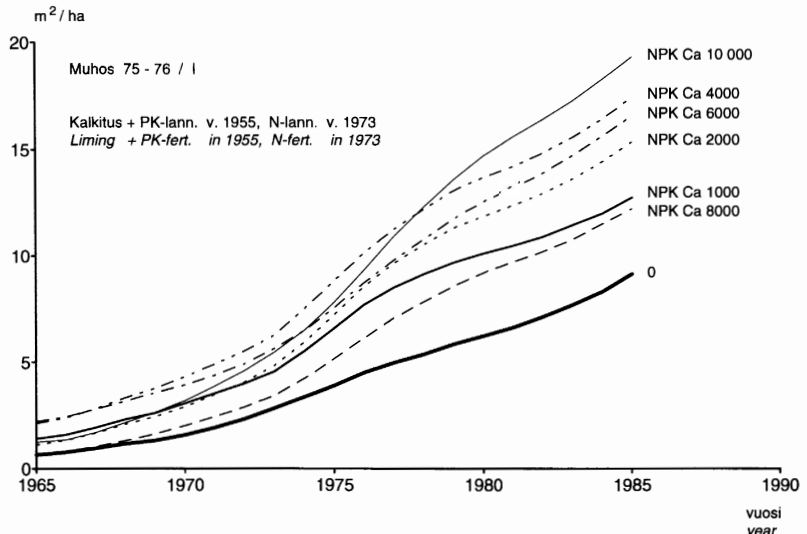
Kuva 2. Pohjapinta-alan kasvun kehitys Vilppulan kentällä II eri kalkitustasoilla.

Fig. 2. Basal area development at the Vilppula II experiment.



Kuva 3. Pohjapinta-alan kasvun kehitys Muhoksen koekentän 75-76 kokeessa I.

Fig. 3. Basal area development at the Muhos 75-76/I experiment.



ha⁻¹, mutta selvää yhteyttä annetun kalkin määrään ja puuston kasvun välillä ei todettu.

Muhos 75-76; Koe 2

Ennen jatkolannoitusta (v. 1973) ainoastaan kalkitustasolla 8 000 kg ha⁻¹ puuston kasvu oli suurempi kuin kontrolliriuudulla (Kuva 4). Muilla koeruuduilla kalkitus (v. 1955) näytti alentaneen puuston kasvua. NPK-jatkolannoituksen jälkeen myös kalkitustasolla 10 000 kg ha⁻¹ kasvu ylitti kontrolliriuudun puuston kasvun.

Muhos 80; Koe 1

Puuston kasvu ei ollut elpynyt käsitellyillä ruuduilla juurikaan ennen jatkolannoitusta (Kuva

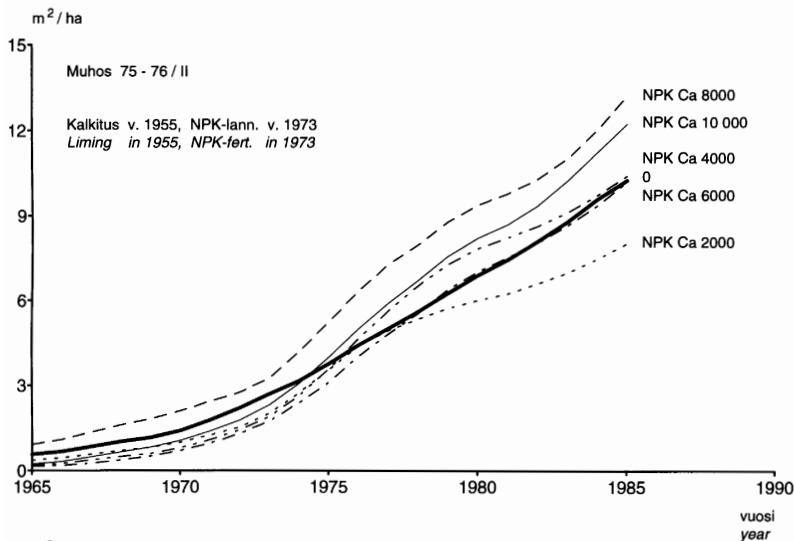
5). N-jatkolannoituksen jälkeenkin puuston kasvu jäi suurimmilla kalkitustasoilla alhaiseksi. Tällä kokeella kontrolliriuudun puuttuminen vaikeutti tulosten tulkintaa.

Muhos 80; Koe 2

Kalkituilla (v. 1956) koeruuduilla puuston kasvu ei elpynyt ennen jatkolannoitusta (Kuva 6). NPK-jatkolannoitus lisäsi puuston kasvua, mutta suurimmilla kalkitustasoilla kuitenkin vain vähän.

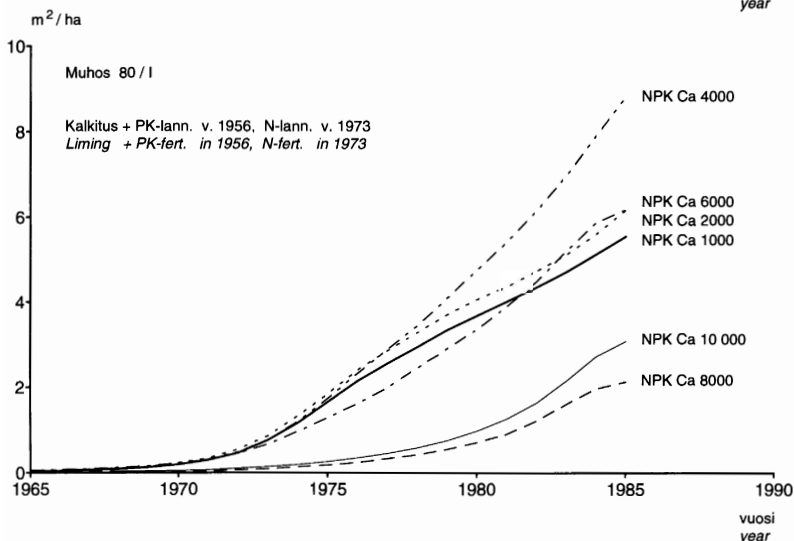
Maa-analyysi

Vilppulan koekentällä turpeen ravinnepitoisuudet olivat alhaiset (Taul. 3). Verrattuna aiempiin tutkimuksiin vanhoilta



Kuva 4. Pohjapinta-alan kasvun kehitys Muhoksen koekentän 75-76 kokeessa II.

Fig. 4. Basal area development at the Muhos 75-76/II experiment.

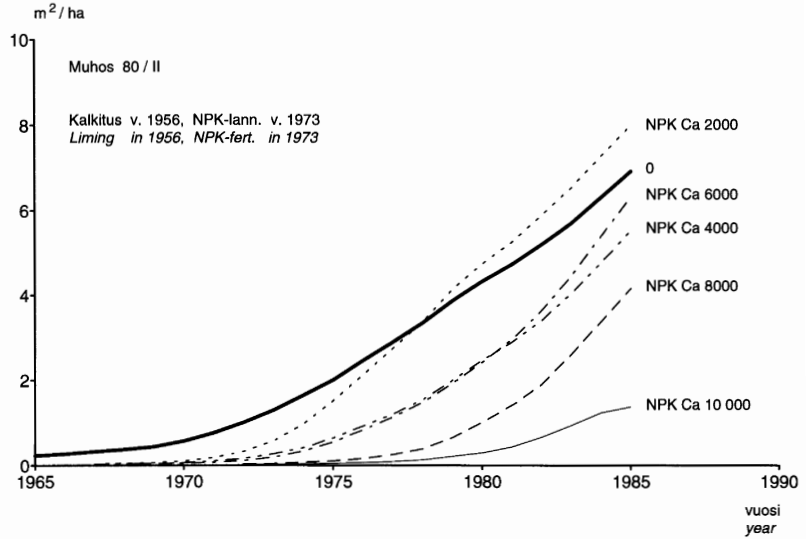


Kuva 5. Pohjapinta-alan kasvun kehitys Muhoksen koekentän 80 kokeessa I.

Fig. 5. Basal area development at the Muhos 80/I experiment.

Kuva 6. Pohjapinta-alan kasvun kehitys Muhoksen koekentän 80 koeksessa II.

Fig. 6. Basal area development at the Muhos 80/II experiment.



ojitusalueilta (Kaunisto ja Paavilainen 1988) varsinkin tyypeä ja fosforia oli vähän. Myös turpeen alhainen pH ja korkea C/N-suhde viittaavat siihen, että Vilppulan kalkituskokeet oli perustettu hyvin karuille soille. Muhoksen koekentät olivat maa-analyysin perusteella selvästi Vilppulan koekenttiä viljavampia.

Kalkitus vähensi turpeen happamuutta, alensi C/N-suhdetta ja lisäsi typen, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksia (Taul. 4). Vilppulan koekentillä kalkitus lisäsi myös turpeen mangaanipitoisuutta. Muhoksen aineistossa kontrolliriuudet eivät ole tässä korrelaatioanalyyseissä vertailukelpoisia, koska muut koeruudet ovat kalkin lisäksi saaneet kaupallisia NPK-lannoitteita (Taul. 2). Ilman 0-ruutuja kalkitusannoksen ja turpeen ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiot Muhoksen aineistossa ovat: Ca

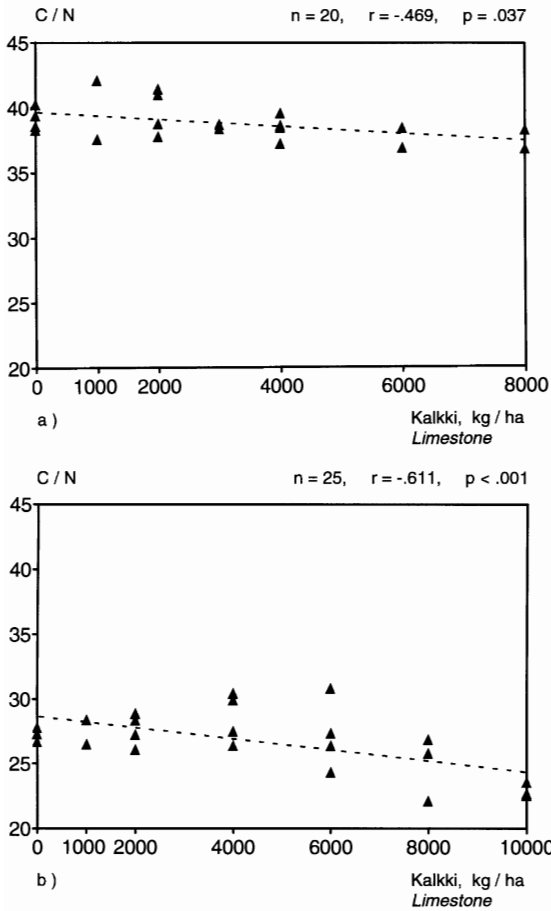
.692***, Mg .377, N .387, pH .808*** ja C/N-suhde .659*** eli kalsiumin, pH-arvon ja hiili-typpi -suhteen osalta korrelaatio on edelleen tilastollisesti merkitsevä.

Turpeen C/N-suhteen perusteella varsinkin suurilla kalkkimäärillä typen mineralisaatiota on voitu nopeuttaa. Alenema C/N-suhteessa on kuitenkin varsin vähäinen (2–5 yksikköä) kontrolliriuutujen ja suurimpia kalkkiannoksia saaneiden koeruutujen välillä (Kuva 7). On ilmeistä, että typen mineralisaatio on Vilppulan kokeissa kalkituksen positiivisesta vaikutuksesta huolimatta puuston typen saannin kannalta edelleenkin liian vähäistä. Tämä lienee tärkein syy siihen, ettei kalkitus ole Vilppulan kokeilla vaikuttanut puuston kasvuun. Muhoksen koalueilla typen saatavuus ei turpeen typpipitoisuuksien perusteella ole yhtä merkittävä minimitekijä kuin Vilppulassa.

Taulukko 3. Keskimääräiset turpeen kemialliset ominaisuudet eri koekentillä 0–30 cm:n turvekerroksessa.

Table 3. Means for peat chemical properties in the 0–30 cm peat layer in different experiments.

Koe – Experiment	pH	N %	P mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	K mg/g	Zn mg/g	Mn mg/g	C/N
Vilppula I	3.80	1.31	0.57	4.42	0.46	0.24	0.019	0.041	38.4
Vilppula II	3.61	1.29	0.63	2.89	0.37	0.29	0.019	0.030	38.6
Muhos 75–76/I	4.73	2.15	1.29	3.90	0.85	0.27	0.014	0.047	25.5
Muhos 75–76/II	4.80	1.91	1.10	5.97	1.09	0.40	0.013	0.040	26.5
Muhos 80/I	4.37	1.87	0.98	2.93	0.77	0.28	0.022	0.019	27.3
Muhos 80/II	4.30	1.89	1.13	3.42	0.77	0.37	0.041	0.020	27.6



Kuva 7. Turpeen (0–30 cm:n kerroksen) C/N-suhteen riippuvuus kalkitusmääristä Vilppulan (a) ja Muhoksen (b) kokeissa.

Fig 7. The correlation between the C/N ratio in the 0–30 cm peat layer and the amount of lime applied in the experimental plots at Vilppula (a) and Muhos (b).

Taulukko 4. Eräiden turpeen ravinnetunnusten (0–30 cm:n kerroksessa) riippuvuus kalkitusmääristä Vilppulan (n = 20) ja Muhoksen (n = 25) koeruuduilla.

Table 4. The correlation between some nutrient concentrations in the 0–30 cm peat layer and the amount of lime applied in the experimental plots at Vilppula (n = 20) and Muhos (n = 25).

	Vilppula		Muhos
pH	0.723 ***	pH	0.794 ***
Ca	0.841 ***	Ca	0.728 ***
Mg	0.693 ***	Mg	0.430 *
Mn	0.719 ***	N	0.427 *
C/N	-0.469 *	C/N	-0.611 ***

Neulasanalyysi

Neulasten ravinnepitoisuudet Muhoksen kokeissa olivat alhaiset (Taul. 5). Pääravinteista typen ja kaliumin pitoisuudet alittivat useilla koeruuduilla Paarlahaan ym. (1971) esittämät ravinnepuutteen raja-arvot (N > 1,30%, K > 4,0 mg g⁻¹). Hivenravinteista kuparia, booria ja sinkkiä oli vähän (vrt. Kaunisto 1982). Kentällä no. 80 boorin pitoisuudet olivat useilla koeruuduilla alle kasvuhäiriöön johtavan puuterajan (Veijalainen ym. 1984).

Neulasten typpi- ja kalsiumpitoisuuteen kalkituksella oli vähäinen positiivinen vaikutus, kun taas mangaanin ja boorin pitoisuuksia suuret kalkkimäärät selvästi vähensivät (Taul. 6). Kontrolliruudut eivät tässäkin tarkastelussa ole vertailukelpoisia. Ilman 0-tasojen kalkitusannoksen ja neulasten ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiot ovat: N .450*, Ca .384 (ei merkitsevä), Mn -.477* ja B -.501*.

Lähinnä puutosrajaa oleva kasvutekijä korreloi voimakkaimmin puuston kasvun kanssa. Vaikka kalkitus selvästi alensi puiden mangaanin saantia, neulasten mangaanipitoisuudet olivat edelleen selvästi puutosrajaa korkeampia (Kolari 1979, Ingestad 1958). Boorin saatavuus muodostui todennäköisimmin kasvua rajoittavaksi tekijäksi. Kuvasta 8a nähdään, että ilman boorinpuutosta kalkitus ja pääravinnelannoitus voisi jonkin verran lisätä puuston kasvua. Varsinkin pitkällä aikavälillä kalkin positiiviset vaikutukset voisivat näkyä (Kuva 8b).

YHTEENVETO

Yleistämiskelpoisten päätelmien tekemistä tästä tutkimuksesta vaikeuttaa varsinkin toistojen puuttuminen. Tulosten tulkintaa kalkitusvaikutuksen osalta olisi oleellisesti parantanut se, että Muhoksen aineiston vertailukoealat olisivat saaneet samat määrät NPK-lannoitetta kuin eri kalkitustasot. Samoin tulosten tulkintaa olisi auttanut, jos maa- ja neulasanalyysijä olisi tehty vuosikymmeniä kestäneiden tarkastelujaksojen aikana useammin kuin vain kerran kokeen lopussa. Vilppulan koetta II lukuunottamatta kokeiden puusto uudistettiin kalkitushetkellä. Siten uudistumisen epätasaisuus on voinut aiheuttaa kalkituksesta riippumatonta vaihtelua puuston kehityksessä. Samoin kalkituksesta riippumatonta vaihtelua ovat voineet aiheuttaa puuston käsitellyt kokeen aikana.

Taulukko 5. Keskimääräiset neulasravinnepitoisuudet ja havaintojen vaihteluväli (suluissa) Muhoksen Oksansuon kalkituskoeksissa.

Table 5. The mean and range of values (in parentheses) for various foliar nutrient concentrations in the experiments at Muhos, Oksansuo.

Kenttä/Koe Experiment	N %	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g
75-76/I	1,31 (1,22-1,40)	1,64 (1,38-1,82)	3,42 (2,86-3,85)	2,04 (1,72-2,18)	1,63 (1,46-1,84)
75-76/II	1,25 (1,21-1,31)	1,53 (1,27-1,76)	4,06 (3,60-4,59)	2,46 (2,11-2,74)	1,54 (1,36-1,72)
80/I	1,24 (1,15-1,35)	1,47 (1,35-1,65)	3,43 (3,12-3,62)	2,20 (1,98-2,52)	1,63 (1,42-1,87)
80/II	1,19 (1,10-1,32)	1,54 (1,27-1,74)	4,04 (2,94-4,45)	2,26 (1,70-2,61)	1,49 (1,26-1,69)

Kenttä/Koe Experiment	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	Cu ppm
75-76/I	33,1 (29,6-40,5)	42,3 (36,1-56,9)	291 (183-363)	11,7 (5,6-18,2)	2,9 (2,5-3,4)
75-76/II	32,1 (29,5-36,0)	52,5 (47,2-61,7)	279 (191-388)	8,1 (4,8-11,4)	2,8 (2,7-3,2)
80/I	36,2 (31,7-39,5)	50,5 (44,5-55,7)	219 (153-289)	5,9 (3,1-10,1)	3,4 (3,2-3,9)
80/II	38,1 (33,2-42,4)	50,7 (42,1-55,1)	222 (104-394)	6,6 (2,4-15,2)	3,0 (2,8-3,2)

Ottaen huomioon em. varaukset tuloksista voidaan tehdä seuraava yhteenveto:

Pelkkä kalkitus tasoilla 1 000-8 000 kg ha⁻¹ ei pitkällä aikavälillä (57 vuoden aikana) oleellisesti heikentänyt tai parantanut puuston tuotosta. Kalkitus yhdistettynä NPK-lannoitukseen joko hieman lisäsi tai selvästi vähensi puuston kasvua. Kasvun heikkeneminen aiheutui todennäköisesti ankarasta boorin puutoksesta.

Kalkitus vähensi turpeen happamuutta, alensi C/N-suhdetta ja lisäsi typen, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksia. Kalkituksen vaikutus typen mineralisaatioon ei suurillakaan kalkitusmäärillä ollut puuston typen saannin kannalta riittävän voimakas.

Kalkitus yhdistettynä pääravinnelannoitukseen (NPK) ilmeni neulasanalyysin

perusteella n. 30 vuoden kuluttua kalkituksesta vain hieman parantuneena puuston typen saantina, mutta selvästi heikentyneenä mangaanin ja erityisesti boorin saatavuutena. Muutokset ravinteiden saatavuudessa ilmenevät varsinkin suurilla kalkkimäärillä (8 000 tai 10 000 kg ha⁻¹).

Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että kalkituksen yhteydessä annettu shokkivaikutusta torjuva pääravinne- ja hivenravinnelannoitus (esim. NPKB) voisi lisätä puuston tuotosta lannoittamattomaan käsittelyyn verrattuna. Aiempien tutkimusten perusteella (Kaunisto 1982) näyttää kuitenkin siltä, että ainakin lyhyellä aikavälillä puuston kasvu lisääntyy pelkällä lannoituksella enemmän kuin erilaisilla kalkitus+lannoitus -käsittelyillä.

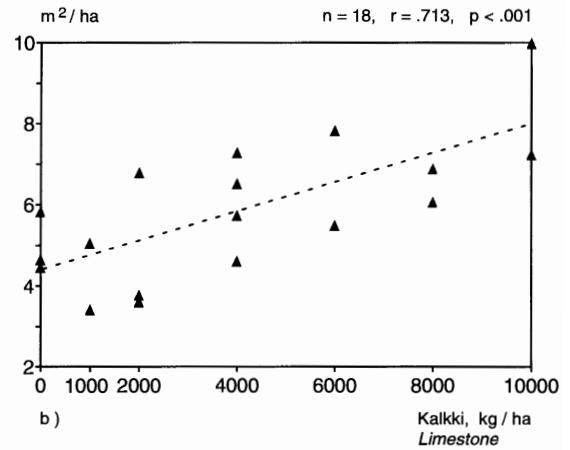
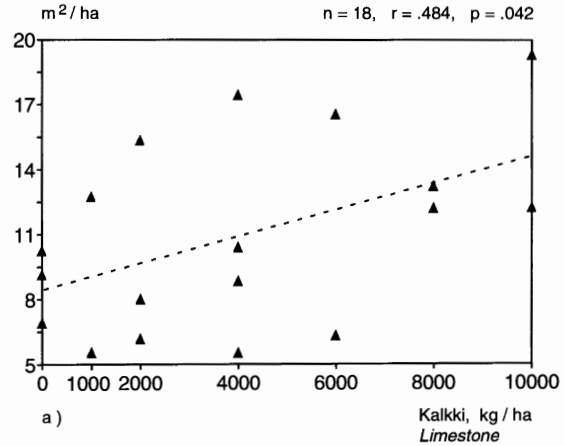
Taulukko 6. Neulasten typpi-, kalsium-, mangaani- ja booripitoisuuksien riippuvuus kalkitusmäärästä Muhoksen kokeissa

Table 6. The correlation between needle nitrogen, calcium, manganese and boron concentrations and the amount of lime applied in the experimental plots at Muhos (n = 25).

	Kalkitusannos, kg/ha Liming dose
N	0.469 *
Ca	0.421 *
Mn	-0.576 **
B	-0.645 ***

KIITOKSET

Tutkimuksen maa-analyysiaineisto sisältyy osana Elina Ekolan pro gradu -tutkielmaan (Ekola 1989). Kiitämme häntä aineiston luovuttamisesta käyttöömmme. Aineiston käsittelyssä ovat avustaneet Inkeri Suopanki (tallennus, laskenta ja kuvien piirtäminen), Kirsi-Marja Lehtinen (taulukot ja tekstin muokkaaminen) ja Raija Linnainmaa (piirroukset). Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja viimeistelyvaiheessa arvokkaita neuvoja antaneet professori Seppo Kaunisto, MMT Erkki Ahti ja FT Harri Vasander sekä kaksi valittua ennakkotarkastajaa. Ph.D. Michael Starr on tarkastanut englanninkielisen käännöksen. Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille tutkimuksen toteutumisessa avustaneille.



Kuva 8. Pohjapinta-alan kokonaiskasvun (a) ja viimeisen kymmenvuotijakson kasvun (b) riippuvuus kalkitusmäärästä Muhoksen kokeissa. Boorinpuutosruudut (neulas-B < 5 ppm) on poistettu analyysistä.

Fig. 8. The correlation between basal area increment for (a) the period 1955–1985 and (b) for the period 1976–1985 and the amount of lime applied in the experiments at Muhos. If needle boron concentration is less than 5 ppm (= deficiency limit), the plot is not included in the analysis.

KIRJALLISUUS

- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986: Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. — National Swedish Environment Protection Board 3084:1–107.
- Derome, J. & Pätilä, A. 1989: The liming of forest soils in Finland. (Kalkning av skog i Finland). — Medd. inst. skogforsk. 42(1): 147–155.
- Dickson, D.A. 1984: Effects of ground limestone and urea on growth of Sitka spruce planted on deep oligotrophic blanket peat in Northern Ireland. — Proceedings of the 7th International Peat Congress. Volume III:255–263.
- Gardiner, J.J. 1975: The influence on fertilizers upon microbial activity in peat. II Calcium and nitrogen. — Irish For. 32(2): 101–114.
- Ekola, E. 1989: Kalkituksen vaikutus turpeen viljavuustunnuksiin. — Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, suomensäätieteen laitos. 79 s.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981: Ravinneanalyyysien työohjeet. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja

- 36:1-23.
- Heinonen, J. 1994: Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504:1-80.
- Holmen, H. 1964: Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I-III. — *Studia Forestalia Suecica* 16:1-239.
- Ingestad, T. 1958: Studies on manganese deficiency in a forest stand. — *Medd. Stat. Skogforsk.* 48(4): 1-20.
- Kaunisto, S. 1982: Development of pine on drained bogs affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109:1-56.
- Kaunisto, S. & Norlamo, M. 1976: On nitrogen mobilization in peat. Effect of liming and rotation in different incubation temperatures. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 88:1-27.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988: Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu.* — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145:1-39.
- Kolari, K.K. 1979: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Summary: Micronutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. — *Folia Forestalia* 389:1-37.
- Lehto, T. 1984: Kalkituksen vaikutus männyn mycorrhizein. Summary: The effect of liming on the mycorrhize of Scots pine. — *Folia Forestalia* 609:1-20.
- Lipas, E. 1990: Kalkituksen aiheuttama booripuute kangasmaan kuusikossa. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352:1-22.
- Lukkala, O.J. 1951: Kokemuksia Jaakkoinsuo koeojitusalueelta. Summary: Experiments from Jaakkoinsuo experimental drainage area. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39:1-53.
- Meshechok, B. 1968: Om startgjodsling ved skogkultur på myr. — *Meddelelser fra det Norske Skogforsoksvesen* 87:1-140.
- Meshechok, B. 1971: Kalking ved skogkultur på nedborsmyr. — *Meddelelser fra det Norske Skogforsoksvesen* 114:241-259.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971: Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä.* — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1-58.
- Popovic, B. & Andersson, F. 1984: Markkalkning och skogsproduktion. Summary: Liming and forest production. — *National Swedish Environment Protection Board* 1792:1-107.
- Pätälä, A. 1990: Buffering of peat and peaty soils: Evaluation based on artificial acidification of peat lysimeters. — *Teoksessa: Kauppi, P., Kentämies, K. & Anttila, P. (toim.). Acidification in Finland.* Springer-Verlag, Berlin:305-324.
- Pätälä, A. & Nieminen, M. 1990: Turpeen emäsravinne- ja rikkitasen karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen. Summary: Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input. — *Folia Forestalia* 759:1-16.
- Raitio, H. 1979: Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä pellolla. Abstract: Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms. — *Folia Forestalia* 412:1-16.
- Valmari, A. 1971: On chemical growth factors in peat soil. — *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Julkaisuja* 123:39-53.
- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K. 1984: Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. — *Folia Forestalia* 601:1-41.
- Viro, P.J. 1962: Kalkkikysymys metsässä. — *Sementtiyhdistyksen tiedotuksia.* Erikoisnumero 1:5-8.

SUMMARY

THE GROWTH OF SCOTS PINE AND THE AVAILABILITY OF NUTRIENTS IN OLD FINNISH LIMING EXPERIMENTS ON DRAINED PEATLANDS

During the past decade considerable attention has been paid to the acidification of soils caused by acidic deposition. Liming has been thought to be an effective means of counteracting the detrimental effects of acidic deposition. According to the results of Pätälä (1990) and Pätälä and Nieminen (1990) even the maximum acid deposition recorded in Finland ($0.20-0.40 \text{ keq H}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) is, however, too low to accelerate acidification processes in peat soils. Therefore

the liming of peatlands is not used to prevent acidification of peatlands themselves, but might be used to prevent acidification in recipient water bodies. Liming or liming and fertilization together might also be used to increase tree growth if both the positive and negative factors associated with liming are fully understood.

The first liming experiments in Finnish peatlands were performed already in 1929. The aim of this study is to describe the growth of

stands on some of the oldest Finnish liming experiments. The nutritional factors associated with liming and tree growth are studied by soil and needle analysis.

The experiments are located in southern Finland (62° 04'N, 24° 30'E) at Jaakkoinso, Vilppula and in northern Finland (64° 52'N, 26° 6'E) at Oksansuo, Muhos. The descriptions of experimental areas are presented in Table 1. In the Vilppula I experiment the liming treatments were 0, 2 000, 4 000, 6 000 and 8 000 kg ha⁻¹ and in the Vilppula II experiment 0, 1 000, 2 000, 3 000 and 4 000 kg ha⁻¹. The experimental designs at Muhos are presented in Table 2. The weakness of these old experiments is the absence of replications. In Vilppula there are two plots per treatment, but treatments are in systematic order. Except for Vilppula II (young thinning stand at the start of the experiment), the plots were reforested at the beginning of the experiments.

In the Vilppula I experiment the mean volume increment was chosen as the parameter for determining the effect of liming on tree stand growth, and the basal area increment was chosen in other experiments.

Peat samples were taken from each plot in the summer of 1986 for the determination of pH (H₂O) and total nutrient concentrations. Needles were sampled only in the experiments of Muhos. Needles were collected from the top of branch whorls of 6–10 trees in each plot in March 1985 and combined into one sample. The peat and needle samples were analysed according to the standard methods of the Finnish Forest Research Institute (Halonen and Tulkki 1981).

Liming alone had no clear effect on tree growth (Figs. 1 and 2). Most liming plus NPK fertilization treatments had a positive effect on the growth of trees in the Muhos 75–76/I and II experiments

(Figs. 3 and 4), even if the dependence between the amount of lime applied and stand growth was weak. In the Muhos 80/I and II experiments (Figs. 5 and 6), however, liming plus fertilization distinctly decreased tree growth, particularly when high amounts of lime were applied.

Liming increased the nitrogen, calcium and magnesium contents of peat and decreased the C/N ratio and acidity (Table 4). Despite the fact that liming decreased the C/N ratio of peat, the differences in the C/N ratios between the zero liming levels and the highest calcium levels were quite small in both of the experimental areas (Fig. 7). It is therefore concluded, that the changes in nitrogen availability to trees caused by liming have not been sufficient enough to affect tree growth.

Liming increased needle nitrogen and calcium, but decreased boron and manganese concentrations (Table 6). Despite the decrease in needle manganese concentrations, they were still much higher than the deficiency limit of 7 ppm reported by Ingestadt (1958). Boron deficiency was probably the main reason for the lowering of tree production in the highest liming levels at the Muhos 80/I and II experiments. Excluding those plots with a deficiency of boron, indicated that liming plus NPK fertilization has a positive effect on stand growth (Fig. 8).

Because of the weaknesses in the experimental designs it is difficult to draw general conclusions from the study. However, there are indications, that the negative effect of liming and fertilization (NPK) on tree growth could be alleviated by applying boron. On the basis of our results, stand growth does not benefit from liming alone. If liming is to be carried out, it should be in conjunction with NPK fertilization, including B.

Received 31.VIII.1994

Approved 15.XI.1994