METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 646, 1997



Taimitarhalannoitus ja metsäpuiden taimien laatu

Risto Rikala

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

METLA

Veikolle ystävyydellä Risto

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 646, 1997

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Jalostusosasto

Taimitarhalannoitus ja metsäpuiden taimien laatu

Risto Rikala

Akateeminen väitöskirja

Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan luvalla julkisesti tarkastettavaksi Metsätalon luentosalissa II, Unioninkatu 40 B, perjantaina 3. päivänä lokakuuta 1997, kello 12.00.

Rikala, R. 1997. Taimitarhalannoitus ja metsäpuiden taimien laatu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 646. 68 s.+ 6 liitettä. ISBN 951-40-1573-8. ISSN 0358-4283.

Taimien lannoitusta pidetään eräänä keskeisimmistä taimien laatuun vaikuttavista kasvatustoimenpiteistä metsäpuiden taimitarhoilla. Lannoitus, mukaan lukien kalkitus, vaikuttaa suoraan tai välillisesti lähes kaikkiin taimien laatua kuvaaviin ja niiden metsänviljelyarvoa ennustaviin tunnuksiin. Tässä tutkimuksessa selvitettiin lannoituksen vaikutusta kasvualustan kemiallisiin ominaisuuksiin sekä taimien rakenteeseen, ravinnetilaan, pakkaskestävyyteen ja taimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen. Lisäksi esiteltiin ja sovellettiin vektorinomogrammin käyttöä ravinneanalyysin tulkinnassa.

Männyn ja kuusen taimet kasvoivat parhaiten vaaleassa rahkaturpeessa pH-alueella 4–5, mikä saavutettiin 0,5–2,0 kg m^{-3}:n tuhka- tai kalkkilisäyksillä. Koivun kasvulle ei vastaavaa optimia ollut, vaan taimet kasvoivat lähes yhtä hyvin koko tutkitulla pH-alueella (3,5–8,0). Dolomiittikalkki ja puuntuhka olivat vaalean rahkaturpeen kalkitusaineina samanarvoisia. Tuhkalla oli lisäksi selvä ravinnevaikutus. Teollisesti pakattujen turpeiden vesilietosten happamuudessa ja sähkönjohtokyvyssä oli tilastollisesti merkitseviä, mutta käytännössä pieniä eroja, jotka ilmentävät vastaavia eroja peruslannoitteen ja kalkin määrissä ja koostumuksissa. Turve-erien sisäinen happamuuden vaihtelu oli vähäistä, ja kalkitustasaisuutta voidaan pitää taimikasvatukeen riittävänä. Peruslannoituksen tasaisuutta ilmentävän turpeen johtokyvyn vaihtelun lähteistä suurin oli arkkien välinen vaihtelu. Suurimmillaan erän sisäinen vaihteluväli oli 0,35–0,61 mS cm^{-1}. Turpeen johtokyvyn vaihtelu kasvatuksen alkuvaiheessa voi vaikuttaa herkkien havupuun taimien veden- ja ravinteidenottoon ja näin aiheuttaa vaihtelua taimien laatuun.

Lannoitus ei juuri vaikuttanut ensimmäisen vuoden männyntaimien karaistumiseen syksyllä. Sen sijaan vaikka toisen kasvukauden aikana loppukesällä annettu runsas lannoitus hidasti männyntaimien neulasten pituuskasvun päättymistä, se silti hieman nopeutti taimien pakkaskestävyyden kehittymistä. Ensimmäisen vuoden männyntaimilla violetinpunainen syysväri ja taimien latvojen kuiva-ainepitoisuus eivät osoittautuneet yksiselitteisiksi karaistumisen indikaattoreiksi.

Loppukesän koulintaa edeltävä peruslannoitus ei vaikuttanut taimien kehittymiseen. Sen sijaan kasvukauden aikainen lannoitus lisäsi männyn paljasjuuristen ja paakkutaimien kokoa sekä ravinnepitoisuutta, mutta samalla myös jälkikasvuisten taimien osuutta. Kasvukauden jälkeinen syyslannoitus ei taas vaikuttanut paljasjuuristen männyntaimien ravinnetilaan ilmeisesti käytetyn lannoitemäärän vähäisyyden vuoksi. Taimitarhalannoitus ei yleensä vaikuttanut taimien istutuksen jälkeiseen elossaoloon, mutta paransi taimien pituuskasvua. Kuitenkin istutuksen jälkeen taimissa oli nähtävissä myös istutussokin oireita. Ne olivat sitä voimakkaampia mitä enemmän taimia oli lannoitettu ja mitä niukkaravinteisemmalle kasvupaikalle ne istutettiin. Männyntaimien jälkikasvusta ei todettu olevan haittaa taimien myöhemmälle kehitykselle.

Avainsanat: happamuus, istutusmenestys, karaistuminen, lannoitus, mukautuminen, pakkaskestävyys, ravinneanalyysi, taimitarha, vektorimenetelmä

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 16.7.1997.

Kirjoittajan osoite: Risto Rikala, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, 77600 Suonenjoki, sähköposti: risto.rikala@metla.fi.

Alkusanat

Tämä työ on yhteenveto Metsäntutkimuslaitoksen "Taimitarhatutkimus"-hankkeissa toteutetuista havupuiden lannoitusta käsittelevistä tutkimuksista. Taimitarhatutkimus on soveltavaa, käytännönläheistä tutkimusta, jonka tavoitteena on taimituotannon ja metsänviljelyn tulosten parantaminen. Koska tämän tutkimuksen kuudesta osatyöstä neljä on julkaistu englanniksi, olen laatinut yhteenvedon suomeksi tiedon pääasiallisia käyttäjiä ajatellen. Samalla haluan kiittää taimituottajia hyvästä ja tuloksekkaasta yhteistyöstä.

Se että tämä yhteenveto valmistui, vaikkakin vasta nyt, johtuu ennen kaikkea prof. Matti Leikolan kannustuksesta ja vuosien varrella lähettämistä "terveisistä". Terveisien tuojista ahkerin, hienovaraisen suostuttelu-odottelutaktiikan soveltaja, Suonenjoen tutkimusaseman johtaja, dos. Heikki Smolander luki rakentavan kriittisesti sekä tämän yhteenvedon että valtaosan osajulkaisujen käsikirjoituksista ja oli yhdessä kanssakirjoittajanakin. Yhteistyö myös muiden kanssakirjoittajieni MMT Juha Heiskasen, FL Seppo Huurinaisen, MMK Annika Jolkkosen (os. Toivonen), MML Helen Jozefek-Ruhkalan ja MMT Tapani Revon kanssa oli tuloksekasta ja antoisaa. Motivoivia ja innostavia taimitutkimukseen liittyviä pohdintoja olen käynyt vuosien varrella myös ylitarkastaja Hannu Kukkosen, dos. Juha Lapin, MMK Sakari Liljan, prof. Paavo Pelkosen, MMT Pasi Puttosen, dos. Hannu Raition ja apul.prof. Pentti K. Räsäsen kanssa. Työni metsäekologian laitoksella "vastaanottanut" prof. Carl-Johan Westman sekä esitarkastajat apul.prof. Heikki Hänninen ja dos. Eero Kubin tekivät hyviä kommentteja yhteenvedon käsikirjoitukseen.

Lukuisat henkilöt Suonenjoen tutkimusasemalla ovat auttaneet minua työni eri vaiheissa. Heistä tutkimusmestari Ritva Pitkänen on ollut mukana tämän työn kaikissa vaiheissa. Haluan kiittää lämpimästi koko Suonenjoen tutkimusaseman henkilökuntaa sekä kaikkia edellä mainittuja että lukuisia nimeltä mainitsematta jääneitä minua tämän työn eri vaiheessa auttaneita työtovereita.

Suonenjoella toukokuussa 1997 *Risto Rikala*

Luettelo alkuperäisistä julkaisuista

Tämä väitöskirja perustuu seuraaviin julkaisuihin, joihin tekstissä on viitattu roomalaisin numeroin.

I Rikala, R. & Jozefek, H. J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. Tiivistelmä: Dolomiittikalkin ja puuntuhkan vaikutus kasvuturpeeseen ja taimien kehittymiseen. Silva Fennica 24: 323–334.

II Rikala, R. & Heiskanen, J. 1995. Variation in electrical conductivity and acidity of preculture peat growth media used in Finnish tree nurseries. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 161–166.

III Toivonen, A., Rikala, R., Repo, T. & Smolander, H. 1991. Autumn colouration of first year *Pinus sylvestris* seedlings during frost hardening. Scandinavian Journal of Forest Research 6: 31–39.

IV Rikala, R. & Repo, T. 1997. The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. New Forests (painossa).

V Rikala, R. & Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus kaksivuotisten männyn paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Summary: Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year old containerized Scots pine seedlings. Folia Forestalia 745. 16 s.

VI Rikala, R. 1992. Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen. Summary: Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings. Folia Forestalia 794. 19 s.

Sisällys

1 JOHDANTO 6
1.1 Taimien laatu ja kasvatusmenetelmät 6
1.2 Turpeen happamuus ja peruskalkitus 8
1.3 Lannoitusmenetelmät 10
1.4 Lannoitus ja taimien karaistuminen 13
1.5 Lannoitus ja taimien maastomenestyminen 15
1.6 Ravinneanalyysin tulkinta 17
2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS 23
3 TUTKIMUSYMPÄRISTÖ JA -MENETELMÄT 24
4 KOKEET JA TULOKSET 27
4.1 Turpeen happamuus ja taimien alkukehitys (I) 27
4.2 Johtokyvyn ja happamuuden vaihtelu metsätaimiturpeissa (II) ... 28
4.3 Lannoituksen vaikutus taimien pakkaskestävyyteen (III, IV) 29
4.4 Lannoituksen vaikutus taimien kehittymiseen taimitarhalla ja istutuksen jälkeen (V, VI) 32
5 TULOSTEN TARKASTELU 37
5.1 Kasvualustan happamuus ja johtokyky 37
5.2 Lannoitus ja taimien karaistuminen 41
5.3 Lannoitus, taimien morfologia ja ravinnetila 42
5.4 Taimien ravinnetila ja menestyminen istutuksen jälkeen 46
6 JOHTOPÄÄTÖKSET 51
KIRJALLISUUS 53

ALKUPERÄISET JULKAISUT (I–VI)

1 Johdanto

1.1 Taimien laatu ja kasvatusmenetelmät

Metsäpuiden taimituotannon tavoitteena on kasvattaa hyvälaatuisia taimia metsänviljelyyn kohtuullisin kustannuksin. Koko viljelyketjun laadun lopullinen mittari on taimien menestyminen uudistusalalla istutuksen jälkeen. Taimien menestymiseen vaikuttavat lukuisat tekijät viljelyketjun eri vaiheissa. Viljelyketjun toimenpiteet voidaan jakaa taimien laadun ja sen muutosten kannalta kolmeen vaiheeseen: taimien kasvatukseen taimitarhalla, taimien siirtoketjuun ja istutukseen sekä taimien uudistusalalle mukautumiseen vaikuttaviin toimiin.

Kaikkia näitä osa-alueita on tutkittu Suomessa samoin kuin vastaavissa olosuhteissa muissa Pohjoismaissa ja Kanadassa. Suomessa Heikinheimo (1940) käynnisti taimitarhatutkimuksen jo 1930-luvulla, ja taimien kasvatusmenetelmiä on sen jälkeen tutkittu runsaasti. Viljelyketjun toisen vaiheen osatekijöitä, taimien nostoa (Huuri 1973a), varastointia (esim. Yli-Vakkuri ym. 1968, Räsänen 1970, Huuri 1973b, Lähde 1978), vaurioitumista noston ja istutuksen välillä (Kauppi 1984), ravintovaraston ehtymistä (Puttonen 1986) sekä koko uudistamisprosessia systeeminä (Räsänen 1981) tutkittiin intensiivisesti 1970- ja 80-luvuilla. Taimien mukautuminen uudistusalalla on aivan viime vuosina ollut aktiivisen tutkimuksen kohteena (Lippu ja Puttonen 1991, Korpilahti ym. 1995, Ryyppö ja Vapaavuori 1995). Tulokset osoittavat, että kaikilla viljelyketjun eri vaiheilla on olennainen vaikutus uudistamistulokseen. Koko siirtoketjun ajan taimitarhalta istutuskuoppaan taimi summaa ympäristön aiheuttamaa rasitusta, joka heikentää taimen menestymismahdollisuuksia. Hyvälaatuisen taimen tulee siis toisaalta kestää siirtoketjun aikaista rasitusta mahdollisimman hyvin ja toisaalta mukautua nopeasti uudistusalan olosuhteisiin.

Metsäpuiden taimien kasvatusmenetelmien ja taimien laadun mittausmenetelmien kehittämiseksi on pyritty selvittämään taimien istutusmenestystä ennustavia tunnuksia. Taimien laatua on kuvattu lukuisilla, taimien eri ominaisuuksia mittaavilla tunnuksilla (Schmidt-Vogt 1966, Duryea 1985). Taimien laatua kuvaavien tunnuksien yhdistelmää, jonka on

havaittu ennustavan taimien istutuksen jälkeistä menestymistä, on käsitteellisesti ryhdytty kutsumaan tavoitetaimeksi (target seedling) (Rose ym. 1990, Omi 1991, Rose ja Haase 1995). Tavoitetaimikäsitettä voidaan hyödyntää sekä kasvatusohjeistojen että taimien laadun seurantamenetelmien ja laatukontrollin kehittämisessä. Tavoitetaimitunnuksiksi on ehdotettu esimerkiksi taimen pituutta, läpimittaa, juuriston kokoa, sivujuurten lukumäärää, ravinnetilaa, vesipotentiaalia ja pakkaskestävyyttä (Rose ja Haase 1995).

Taimien laatutunnukset ryhmitellään niiden mittaustavan mukaan aineellisiin tunnuksiin (material attribute) ja suoriutumistunnuksiin (performance attribute) (Ritchie 1984). Aineellisiin tunnuksiin kuuluu sellaisia suoraan taimesta mitattavia morfologisia tai fysiologisia ominaisuuksia kuten pituus, kuivapaino, hiilihydraattipitoisuus, ravinnetila ja vesipotentiaali. Suoriutumistunnukset yhdistävät useita taimien fysiologisia ja morfologisia ominaisuuksia mittaamalla taimien selviytymistä erilaisissa testiolosuhteissa. Suoriutumistunnuksia ovat esimerkiksi pakkaskestävyys ja juurten kasvupotentiaali.

Taimen laatu taimitarhalla muodostuu siemenen perimän ja taimen kasvuympäristön sekä kasvatustoimenpiteiden yhteisvaikutuksesta. Taimien kasvatusympäristön säätelyllä ja kasvatusmenetelmien valinnalla pyritään ohjaamaan taimien ominaisuuksia haluttuun suuntaan. Taimien rakenteeseen ja fysiologiaan sekä edelleen taimien menestymiseen istutuksen jälkeen vaikuttavat voimakkaasti mm. kasvualusta (Warkentin 1984, Landis 1990b, Heiskanen 1993b), lämpötila (Lippu ja Puttonen 1989, Sutton 1991, Odlum ja Ng 1995), valon määrä, laatu ja valojaksoisuus (Landis ym. 1992), kastelu (Lähde ja Savonen 1983, McDonald 1984, Landis 1989b), lannoitus (Duryea 1984, van den Driessche 1991a), kasvatustiheys (Mikola 1956, Hultén 1980, Savonen ja Lähde 1984, Neckelmann 1986), koulinta (Parviainen ja Konttinen 1978, Duryea 1984) ja juurten leikkaaminen (Parviainen 1980, Racey ja Racey 1988, Parviainen ja Tervo 1989) sekä paakkutaimilla paakun ominaisuudet ja kasvatusalusta (Parviainen 1976, Rikala ja Vähänummi 1983, Landis 1990a).

Taimitarhalannoituksen vaikutus taimien laatuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen perustuu taimien kykyyn varastoida ja kuljettaa ravinteita sekä siihen kuinka ravinteet vaikuttavat taimien kokoon ja rakenteeseen, taimien kuivuuden, kylmyyden ja erilaisten bioottisten tuhojen kestävyyteen (van den Driessche 1991a). Taimien koosta ja rakenteesta

johtuva vaikutus voi kerrannaisvaikutuksien vuoksi kestää useampia vuosia istutuksen jälkeen (Schmidt-Vogt ja Gürth 1969, Rikala 1989, South ja Mason 1993). Taimen ravinnetilan vaikutus on lyhytaikaisempi (Troeng 1988, 1989), joskin sekin voi heijastua pitemmälle taimien rakenteen muuttumisen johdosta.

Kasvualustan kemialliset ominaisuudet ja taimien lannoitus vaikuttavat suoraan tai välillisesti lähes kaikkiin taimien laatua kuvaaviin tunnuksiin, kuten taimien ravinnetilaan (Landis 1985), morfologiaan (Duryea 1984), hienorakenteeseen (Palomäki 1996), pakkaskestävyyteen (Pellet ja Carter 1981) sekä myös fysiologisiin prosesseihin (Rook 1991) ja taimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen (van den Driessche 1991b). Lannoitus onkin ollut jo kauan ja on edelleen keskeinen aihe taimitarhatutkimuksessa ja kasvatusohjeistoissa (Fiedler ym. 1973, Armson ja Sadreika 1974, Donald 1991).

1.2 Turpeen happamuus ja peruskalkitus

Maan reaktio eli happamuus kuvaa maaliuoksessa vapaana olevien vetyionien pitoisuutta (aktiivinen happamuus) (Armson ja Sadreika 1974). Happamuutta mitataan tavallisesti logaritmisella pH-asteikolla. Kasvualustan happamuudella on voimakas vaikutus sekä kasvualustassa tapahtuviin biologisiin ja kemiallisiin ilmiöihin että suoraan kasvin juuriin. Happamuuden suora vaikutus juuriin ilmenee tosin vasta hyvin alhaisilla pH-arvoilla (<3,0) (Mengel ja Kirkby 1982). Kasvualustan happamuus vaikuttaa kasvien kasvuun pääosin maan mikrobiston, ravinteiden liukoisuuden, mykorritsojen ja tautien välityksellä.

Useiden ravinteiden liukoisuus kasveille käyttökelpoiseen muotoon paranee happamuuden noustessa yli pH 5:n, mutta sen noustessa edelleen neutraaliin, erityisesti hivenravinteiden saatavuus heikkenee (Lucas ja Davies 1961). Toisaalta kun pH laskee alle 5,5:n alumiinin pitoisuus turpeessakin kasvaa monille kasveille haitallisiin pitoisuuksiin (yli 1 mg l^{-1}) (Puustjärvi 1991). Männyn ja kuusen taimet kuitenkin kestävät verraten korkeita alumiinipitoisuuksia haitallisten vaikutusten tullessa esille vasta pitoisuuksilla 10–80 mg l^{-1} (McCormick ja Steiner 1978, Arovaara ja Ilvesniemi 1991). Tosin kuusen sirkkataimien on todettu olevan selvästi herkempiä alumiinille kuin vanhempien taimien (Nosko ja Kershaw 1992, Schier 1996). Kasvualustan happamuus vaikuttaa merkittävästi myös

typen eri muotojen käyttökelpoisuuteen taimille. Nitraattitypellä lannoitetut douglaskuusen (*Pseudotsuga menziesii)* taimet kasvavat paremmin happamassa kasvualustassa kun taas ammoniumtypellä lannoitetut taimet neutraalissa kasvualustassa (van den Driessche 1978).

Kasvualustan happamuus vaikuttaa myös mykorritsoihin ja tautien esiintymiseen. Useat havupuiden mykorritsasienet suosivat verraten alhaista pH:ta (Cordell ym. 1987). Kalkituksella ei kuitenkaan näyttäisi olevan vaikutusta kuusen ja rauduskoivun (*Betula pendula*) taimien *Paxillus involutus* -mykorritsasienen esiintymiseen kasvuturpeessa, joskin mykorritsat lisäsivät fosforin ottoa vain pH-alueella 4–5 (Andersson ym. 1996). Paakkutaimikasvatuksessa ongelmaksi nousseen maksasammalen kasvun on todettu vähentyvän, kun kasvualustan happamuus laskee alle pH 4,5:n (Cronberg 1990). Sienitaudeissa happamuuden vaikutukset ovat tautikohtaisia eivätkä aina tautikohtaisestikaan yksiselitteisiä. *Fusariumin* aiheuttamaa taimipoltetta on todettu esiintyvän enemmän kasvualustoilla, joissa happamuus on yli pH 5,9 (Handreck ja Black 1984). *Phytium* puolestaan aiheutti Eladin ja Chetin (1987) sekä Hustedin (1988) mukaan tuhoja enemmän happamammassa kasvualustassa, kun taas Pawukin (1981) tulosten mukaan tilanne oli päinvastainen.

Käsitykset kasvualustan happamuuden merkityksestä metsäpuiden taimien kasvuun ovat vaihdelleet. Yleensä havupuille on suositeltu pH 5,0–6,0 (Tinus ja MacDonald 1979), mutta on esitetty myös alhaisempia arvoja (pH 4,5–5,9) (esim. Sandvik 1968, Brix ja van den Driessche 1974). Lehtipuille on suositeltu happamuutta pH 6,0–7,0, mutta leppä- (*Alnus*) ja koivulajeille on matalampia pH-arvoja on pidetty parempina (Williams ja Hanks 1994).

Vaalea, niukasti maatunut rahkaturve on tällä hetkellä käytännöllisesti katsoen ainoa metsäpuiden paakkutaimikasvatuksessa käytetty kasvualusta Suomessa (Heiskanen 1994b). Vaalea rahkaturve on luonnostaan hapanta (pH 3,5–4,0). Happamuutta pyritään vähentämään neutraloivilla aineilla, kuten kalkilla ja tuhkalla. Kun turvetta ryhdyttiin käyttämään vihannes- ja kukkakasvien viljelyssä, suositeltiin vaaleaan rahkaturpeeseen lisättäväksi kalkkia 8–10 kg kuutiota kohti (Puustjärvi 1973). Metsäpuiden taimikasvatuksessa omaksuttiin puutarhakasvien kasvatusohjeita ja vaaleaan rahkaturpeeseen suositeltiin 7 kg:n dolomiittikalkkilisäystä turvekuutioon (Lehto ja Simolinna 1966). Puiden taimikasvatukseen tarkoitettuun teollisesti pakattuun säkkiturpeeseen lisättiinkin kalkkia aluksi 6–8 kg m^{-3}.

Metsäpuiden taimitarhojen kalkitusaineeksi on suositeltu dolomiittikalkkia, koska se sisältää kasvukauden aikana annettavista lannoitteista usein puuttuvan magnesiumin (van den Driessche 1984, Landis 1990b). Puuntuhka on todettu sekä suometsien (esim. Lukkala 1951, Silfverberg ja Huikari 1985) että maatalouskasvien kasvatuksessa (Saarela 1989) tehokkaaksi kalkitusaineeksi ja runsasravinteiseksi peruslannoitteeksi. Taimitarhoilla puuntuhkaa ei ole laajemmassa mittakaavassa käytetty.

1.3 Lannoitusmenetelmät

Taimitarhalannoitus lisää yleensä taimien kokoa, kuivamassaa ja ravinnepitoisuutta. Lisäksi se vaikuttaa taimen allokaatiosuhteisiin ja pienentää esimerkiksi juuri-versosuhdetta (Duryea 1984). Lannoitus voi aiheuttaa myös poikkeamia, kuten jälkikasvuja taimen normaaliin kasvuun. Jälkikasvujen esiintymiseen vaikuttavat taimien alkuperän lisäksi ympäristötekijät, kuten kasvualustan ravinteisuus ja kosteus sekä sääolosuhteet (Rudolph 1964). Lannoituksella pyritään luomaan kasvualustaan sellaiset ravinneolosuhteet, missä pystytään tuottamaan sekä morfologisesti että fysiologisesti tasapainoisia ja terveitä, istutuksen jälkeen mukautumiskykyisiä taimia.

Taimien lannoitustarve muodostuu taimien ottamista, kasvualustaan sitoutuvista, huuhtoutuvista ja kaasuuntuvista sekä mahdollisten rikkakasvien mukana poistuvista ravinteista (Armson ja Sadreika 1974, Proe 1994). Toisaalta kasvualustaan sitoutuneet ravinteet vapautuvat vähitellen taimille käyttökelpoiseen muotoon. Käytännössä lannoituksen ongelmat kiteytyvät kysymyksiin: kuinka paljon, missä suhteessa, missä muodossa ja milloin ravinteita on annettava.

Taimien lannoitustarvetta on taimitarhoilla arvioitu monin eri tavoin. Vielä 1970-luvulla Suomessa lannoitettiin kiinteiden, etukäteen suunniteltujen lannoitusohjelmien mukaan (Rikala 1978). Sittemmin tarhat siirtyivät jossain määrin paljasjuuritaimituotannossa, mutta etenkin paakkutaimikasvatuksessa, kasvualustan (maa-analyysi) ja joskus taimien ravinnepitoisuuksien (kasvianalyysi) määrittämiseen ja annettujen suositusarvojen (esim. Westman ja Hänninen 1977, Raitio ja Rikala 1982, Viljavuustutkimuksen... 1996) soveltamiseen. Paljasjuuritaimituotannossa maa-analyysejä teetetään kuitenkin yleensä vain syksyllä, jolloin ne palvelevat lähinnä peruslannoitustarpeen selvittämistä. Kasvianalyysejä

käytetään tavallisesti vain silloin kun puuteoireet taimissa ovat jo näkyvissä. Maa-analyysissä ravinnepitoisuus määritetään yleensä uuttamiseen pohjautuvalla menetelmällä, mutta sen ohella on paakkutaimikasvatuksessa otettu käyttöön myös turpeen vesiliukoisten ravinteiden analysointi puristenesteestä (Viljavuustutkimuksen... 1996).

Turpeesta tehtävän ravinneanalyysin sijasta taimitarhat tyytyvät usein puristenesteen sähkönjohtokyvyn (electrical conductivity, EC) seurantaan. Sähkönjohtokyky on liuoksen kokonaissuolapitoisuuden mitta ja se riippuu pääosin nesteessä olevien ravinteiden määrästä (Puustjärvi 1979, Lindell 1980, Landis 1989a). Käytettäessä moniravinteisia liuoslannoitteita, joiden johtokykyvaikutus tunnetaan, voidaan kasvualustan ravinnetasoa seurata johtokykymittauksin kohtuullisen luotettavasti. Sekä vedellä kyllästetystä näytteestä (Landis 1989a) että puristevesinäytteestä (Viljavuustutkimuksen... 1996) mitatuille kasvualustan sähkönjohtokyvyille on esitetty ohjearvoja. Johtokykyarvoja tulkittaessa on otettava huomioon myös muut mittaustulokseen vaikuttavat tekijät, kuten kasvualustan vesipitoisuus näytettä otettaessa ja mitattavan nesteen lämpötila. On muistettava myös, että taimien ravinteidenoton sekä kastelun tai sateen aiheuttaman ravinteiden huuhtoutumisen vuoksi kasvualustan ravinnesuhteet voivat poiketa huomattavasti käytetyn lannoitteen ravinnesuhteista (Rikala 1996). Myös avomaapeltojen ravinnetasoa on seurattu mittaamalla maanäytteiden vesilietosten (1:2,5) sähkönjohtokykyä. Mitattua arvoa kymmenkertaisena on kutsuttu johtoluvuksi (Viljavuustutkimuksen... 1996).

Ravinteiden anto on usein jaettu peruslannoitukseen, hoitolannoitukseen ja syyslannoitukseen. *Peruslannoituksella* tarkoitetaan ravinteiden, usein myös kalkin, sekoittamista kasvualustaan ennen siemenien kylvämistä tai taimien koulimista korvaamaan edellisen sadon kuluttamia ravinteita (Donald 1991, Proe 1994). Peruslannoitustarve suositellaan määritettäväksi maa-analyysin perusteella ja ravinteet annettavaksi hidasliukoisina lannoitteina. Turvealustalla kasvatettaessa peruslannoituksella pyritään säätämään kasvualustan ravinnepitoisuudet kasvin vaatimuksia vastaaviksi (Puustjärvi 1991) ja erityisesti takaamaan hivenravinteiden tasainen sekoittuminen kasvualustaan (Puustjärvi 1983). Turpeeseen lisättävän kalkitusaineen ja lannoitteen määrän lisäksi niiden sekoitustasaisuus vaikuttaa taimien laatuun ja ennen muuta pienissä paakuissa kasvatettavien taimien laadun tasaisuuteen (Whitcomb 1988, Landis 1990b). Teollisesti pakattujen turpeiden tasaisuutta on kuitenkin tutkittu vain vedenpidätystunnusten osalta (Heiskanen 1993a).

Hoitolannoituksella ylläpidetään kasvualustan ravinteisuutta antamalla ravinteet helppoliukoisessa muodossa kasvukauden aikana. Ravinteet annetaan joko vesiliukoisena kasteluveden mukana, lannoiterakeina kasvualustan pintaan tai sijoituslannoitettuna taimirivien väliin (Rikala 1979). Hoitolannoite annetaan yleensä tasasuuruisina annoksina määräajoin. Uusimmissa menetelmissä pyritään ottamaan paremmin huomioon taimien kulloinenkin ravinnetarve. Ingestadin kehittämässä menetelmässä tähän pyritään antamalla ravinteet taimien kasvunopeuteen suhteutettuna ja näin vakioimaan kasvin ravinnepitoisuus kasvukauden aikana (Ingestad ja Lund 1986). Menetelmä kehitettiin vesiliuoskasvatuksessa, mutta sen käyttöä on tutkittu myös turvepohjaisilla kasvualustoilla valkokuusen (*Picea glauca*) ja mustakuusen (*Picea mariana*) (Burgess 1990, Burgess ym. 1991, Timmer ym. 1991, Miller ja Timmer 1997) sekä männyn ja punamännyn (*Pinus resinosa*) (Timmer ja Armstrong 1987a, Troeng ja Ackzell 1988, Timmer ja Miller 1991, Miller ja Timmer 1994) kasvatuksessa. Tulosten mukaan taimien laatu on ollut yleensä parempi kuin perinteisesti kiintein, tasasuuruisin annoksin lannoitettaessa, joskaan taimien typpipitoisuutta ei ole aina pystytty vakioimaan kasvun aikana. Lannoitustarpeen laskeminen Ingestadin menetelmällä on kuitenkin monimutkaisempaa ja lannoittaminen työläämpää kuin perinteisillä menetelmillä (Timmer ja Armstrong 1987a).

Lannoiteliuos joudutaan antamaan joskus esim. kasvualustan märkyyden vuoksi suositeltua väkevämmässä muodossa. Landiksen (1989b) mukaan liian väkevä lannoiteliuos saattaa aiheuttaa lehtivaurioita taimiin. Väkevilläkään lannoiteliuoksilla (7,4 mS cm^{-1}) ei kuitenkaan ollut vaikutusta yksivuotiaiden männyntaimien kasvuun, jos kasvusto lannoituksen jälkeen huuhdeltiin puhtaalla vedellä (Rikala 1986). Myös Phillion ja Bunting (1983) toteavat, että havupuun taimet kestävät lyhytaikaisesti lannoiteliuoksia, joiden johtokyky on ainakin 3–4 mS cm^{-1}.

Syyslannoituksessa ravinteet, tavallisesti typpi, annetaan taimien kasvun hidastuttua tai sen päättymisen jälkeen. Tällöin taimien ravinnepitoisuus voi nousta ilman, että lannoitus vaikuttaa taimien kasvuun tai karaistumiseen (Donald 1991). Tulokset syyslannoituksen vaikutuksista vaihtelevat jonkin verran. Sitkankuusella (*Picea sitchensis*) syyslannoitus paransi taimien kasvua ja eloonjäämistä istutuksen jälkeen, mutta aikaisti taimien silmuun puhkeamista seuraavana keväänä, mikä saattaa altistaa taimet keväthalloille (Benzian ym. 1974). Syyslannoitus on heikentänyt

douglaskuusen taimien kylmävarastointikestävyyttä, mutta lisännyt juurten kasvupotentiaalia (van den Driessche 1983, 1985) ja taimien eloonjäämistä sekä kasvua istutuksen jälkeen (Anderson ja Gessel 1966, Thompson 1983, Jopson ja Paul 1985, van den Driessche 1988). Simpson (1988) totesi syyslannoituksen lisäävän myös kontortamännyn (*Pinus contorta*) juurten kasvupotentiaalia ja istutuksen jälkeistä kasvua. Aiemmin syyslannoituksen käyttö oli vähäistä (Donald 1991), mutta uudet myönteiset tulokset sekä paljasjuurituotannossa (Triebwasser ja Altsuler 1995) että paakkutaimituotannossa (esim. Timmer ja Munson 1991) lisännevät menetelmän käyttöä. Tätä taimien ravinnepitoisuuden kohottamista syyslannoituksella on ruvettu kutsumaan ravinnetankkaukseksi (nutrient loading) (Simpson 1988, Timmer ja Munson 1991, Timmer ja Aidelbaum 1996).

1.4 Lannoitus ja taimien karaistuminen

Taimien oikea-aikainen karaistuminen ja riittävä pakkaskestävyys ovat Suomessa olennainen osa taimien laatua. Verrattain usein esiintyvät hallat (Solantie 1987) ja kevättalven ahavat (Rummukainen ja Voipio 1981) voivat aiheuttaa pahoja vaurioita taimitarhoilla. Etenkin kuusentaimien hallatuhot ovat alkukesällä yleisiä, mutta halla voi vaurioittaa männyntaimiakin (Rikala ja Repo 1987). Myös paakkutaimien juurten paleltuminen syystalvella ennen suojaavan lumipeitteen muodostumista on aiheuttanut tuhoja taimitarhoilla (Lindström 1986, Sutinen ym. 1996). Talvenkestävyyteen kuuluu myös versojen kuivuudensietokyky. Etenkin neulasten pakkaskuivumista on käytännössä usein vaikea erottaa varsinaisista pakkasvaurioista, vaikka vaurioitumismekanismi on erilainen (Christersson ja Fricks 1988).

Taimien ravinnetilan on osoitettu vaikuttavan niiden pakkaskestävyyteen tai ainakin niiden talvenkestävyyteen (esim. Levitt 1956, van den Driessche 1991b). Taimien kunnollisen karaistumisen edellytyksenä on pidetty riittävää ravinteiden saantia (Glerum 1981). Tähän viittaavat myös käytännön havainnot, joiden mukaan loppukesän hallavauriot ovat olleet pahempia taimierissä, joissa neulaset ovat vaalean vihreitä, tumman vihreiden taimierien selvitessä vähemmin vaurioin. Liiallinen lannoitus voi heikentää taimien pakkaskestävyyttä joko viivästyttämällä kasvun päättymistä ja hidastamalla karaistumista tai vaikuttamalla taimien solujen

biokemialliseen koostumukseen (Levitt 1980, Pellet ja Carter 1981). Lannoituksella ei sen sijaan havaittu olevan vaikutusta taimien juuriston pakkaskestävyyteen (Bigras ym. 1989). Toisaalta runsaasti lannoitettujen kontortamännyntaimen juurien kasvun on alhaisessa valaistuksessa havaittu jatkuvan pitempään kuin niukasti lannoitetujen taimien (Coutts ja Phillipson 1977).

Tutkimustulokset lannoituksen ja kasvien pakkaskestävyyden riippuvuudesta ovat ravinnekohtaisesti olleet kuitenkin ristiriitaisia (Pellet ja Carter 1981). Loppukesän kaliumlannoitusta suositeltiin aikaisemmin taimien pakkaskestävyyden lisäämiseksi (Proe 1994). Viron (1966) mukaan pienet kaliumannokset paransivat istutettujen kuusentaimien hallankestävyyttä, mutta toisaalta taimikkolannoituskokeissa kalium- ja fosforilannoitus lisäsivät hallavaurioita (Koskela 1970). Raulon ym. (1994) mukaan voimakas kaliumlannoitus heikensi taimien varastointikestävyyttä. Christerssonin (1973, 1975) tutkimuksissa kalium-, kalsium- ja magnesiumlannoituksella ei ollut vaikutusta yksivuotiaiden männyntaimien pakkaskestävyyteen. Sarjalan ym. (1997) mukaan männyntaimien pakkaskestävyys heikkeni kaliumpitoisuuden kasvaessa (K-pitoisuus 5–8 mg g^{-1}). Myös koivuntaimien pakkaskestävyys heikkeni runsaan kaliumlannoituksen takia (Jozefek 1989). Selvää näyttöä kaliumin vaikutuksesta pakkaskestävyyteen ei kuitenkaan ole saatu ilmeisesti erilaisten koeolosuhteiden ja taimien erilaisen kaliumpitoisuuden vuoksi lähtötilanteessa. On ilmeistä, että kaliumilla on tärkeä merkitys kasvin haihduntaa säätelevien ilmarakojen toiminnassa, ja kaliumlannoitus saattaa lisätä taimien kuivuudenkestävyyttä talvella (Fisher ja Mexal 1984). Aiemmat arvelut kaliumin pakkaskestävyyttä lisäävästä vaikutuksesta perustuneekin sen pakkaskuivumista hidastavaan vaikutukseen (Christersson 1976, Larsen 1978).

Typpilannoituksen on puolestaan esitetty heikentävän kasvien pakkaskestävyyttä (esim. Levitt 1956). Tähän viittaavat myös eräät tutkimustulokset. Runsas lannoitus (N-pitoisuus korkeimmillaan 2,35 %) heikensi douglaskuusen taimien pakkaskestävyyttä (van den Driessche 1983). Aronssonin (1980) mukaan männyntaimien pakkaskestävyys oli korkeimmillaan, kun neulasten typpipitoisuus oli 1,3–1,8 % ja se heikkeni typpipitoisuuden kasvaessa. Myös Palomäki ja Holopainen (1995) totesivat runsaasti lannoitettujen kolmivuotiaiden männyntaimien (N-pitoisuus 1,9 %) kärsineen niukemmin lannoitettuja (N-pitoisuus 0,6–1,2 %) enemmän talvivaurioita. Hellergren (1981) ei puolestaan havainnut typpi-

lannoituksella olevan vaikutusta karaisemattomien, ensimmäisen kesän männyntaimien pakkaskestävyyteen, mutta runsaasti typpilannoitettujen taimien (N-pitoisuus 1,7 %) pakkaskestävyys oli karaisun jälkeen hieman heikompi kuin niukemmin lannoitettujen taimien (N-pitoisuus 1,0–1,5 %). Normaalia runsaammalla lannoituksella ei ole todettu vaikutusta myöskään jättiläistuijan (*Thuja plicata)*, douglaskuusen (Hawkins ym. 1995), valko- tai mustakuusen eikä banksinmännyn (*Pinus banksiana*) pakkaskestävyyden kehittymiseen (Calme ym. 1993), mutta toisaalta niukan lannoituksen (N-pitoisuus alle 1 %) on todettu heikentävän selvästi mustakuusen taimien karaistumista normaalisti lannoitettuihin taimiin (N-pitoisuus 1,3 %) verrattuna (Bigras ym. 1996). Eräät viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että typpi jopa lisää punakuusen (DeHayes ym. 1989, Klein ym. 1989) ja männyn (Troeng ja Ackzell 1990) pakkaskestävyyttä.

Taimien pakkaskestävyyttä on taimitarhoilla pyritty arvioimaan hallantorjuntatarpeen sekä taimien kylmävarastointikestävyyden ennustamiseksi. Pakkaskestävyyden mittaaminen on kuitenkin käytännön toiminnassa ollut ongelmallista. Mitään taimitarhakäyttöön soveltuvaa, yksiselitteistä mittausmenetelmää ei ole ollut käytössä. Taimien pakkaskestävyys voidaan toistaiseksi mitata vain epäsuorasti muiden tunnusten perusteella tai altistamalla taimet pakkaslämpötiloille ja mittaamalla syntyvät vauriot. Yksivuotiaiden männyntaimien karaistuneisuutta on perinteisesti arvioitu niiden punertavan syysvärin perusteella (esim. Langlet 1942, Kinnunen ym. 1974). Tiedetään, että punaisen syysvärin muodostumisen käynnistävät alle +5 °C:n lämpötilat (Nozzolillo 1990), ja että myös päivänpituus vaikuttaa sen muodostumiseen (Camm ym. 1993). Kuitenkaan selvää näyttöä sille, että syysväri ilmentäisi taimien karaistuneisuutta, ei ole ollut. Myös toinen käytetty tunnus, taimien latvan kuiva-ainepitoisuus, kasvaa karaistumisen myötä, ja sen on todettu korreloivan taimien pakkaskestävyyden kanssa (esim. Rosvall-Åhnebrink 1977). Menetelmää on sittemmin sovellettu eri puulajeilla niiden karaistuneisuuden mittaamiseen (esim. Ericsson ym. 1983, Calme ym. 1993).

1.5 Lannoitus ja taimien maastomenestyminen

Taimien laatu, kuljetus, varastointi ja istutustyö sekä olosuhteet uudistusalalla vaikuttavat taimien menestymiseen istutuksen jälkeen (esim.

Margolis ja Brand 1990). Lisäksi näillä tekijöillä voi olla yhdysvaikutuksia, mikä ilmenee myös kehotuksessa "oikea taimi oikealle paikalle" ja taimien laadun määritelmässä "quality is fitness for purpose" (Willen ja Sutton 1980). Määritelmä sisältää ajatuksen, että erilaiset kasvupaikat tai istutusmenetelmät edellyttävät taimilta erilaisia laatuominaisuuksia. Näin ollen myös eri kasvupaikoille tarkoitettujen taimien kasvatuksessa ja taimien laadun testausmenetelmissä voisi olla eroja (Grossnickle ym. 1991, van den Driessche 1991b, Grossnickle ja Folk 1993). Selvää näyttöä taimien ominaisuuksien ja uudistusalan olosuhteiden yhdysvaikutuksesta on toistaiseksi vain taimien koossa. Isojen taimien on todettu menestyvän heinittyvillä kasvupaikoilla pieniä paremmin (esim. Schmidt-Vogt ja Gürth 1969, Iverson 1984).

Uudistusalalla abioottiset tekijät, kuten kuivuus, liiallinen kosteus, ravinteiden niukkuus ja halla sekä bioottiset tekijät, kuten tauti-, hyönteis- ja nisäkästuhot ovat taimien mukautumista hidastavia tekijöitä. Taimien menestymistä mitataan eloonjäämisellä ja kasvulla sekä taimien teknisellä laadulla. Taimien laatutunnusten ja maastomenestymisen välisiä riippuvuuksia on selvitetty yleensä yksittäisten morfologisten ja fysiologisten laatuominaisuuksien osalta (katsaukset esim. Chavasse 1980, Ritchie 1984, Thompson 1985, Puttonen 1989), mutta myös erilaisia yhdistelmätunnuksia (Dickson ym. 1960, Räsänen 1966, Grossnickle ym. 1991) ja tavoitetaimikäsitettä (Rose ym. 1990) on käytetty.

Taimille asetettavat erilaiset vaatimukset kuten nopea kasvu, pakkaskestävyys ja hyönteis- ja tautikestävyys voivat edellyttää taimilta erilaisia, osin keskenään ristiriitaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi typpipitoisuuden kasvaessa on taimien istutuksen jälkeisen kasvun todettu paranevan (esim. Sandvik 1968, 1978), mutta sienitauti- (Lilja ym. 1997) ja hyönteistuhoalttiuden lisääntyvän (McClure 1991, Selander ja Immonen 1992). Tuhoalttiuden lisääntyminen saattaa johtua typpilannoituksen taimien fenolipitoisuutta vähentävästä ja aminohappoja lisäävästä vaikutuksesta (esim. Muzika ja Pregitzer 1992, Holopainen ym. 1995). Toistaiseksi käytännön taimituotannossa onkin tyydytty tavoittelemaan rakennesuhteiltaan ja ravinnepitoisuudeltaan tasapainoisia, mutta erikokoisia, pintakasvillisuuden kilpailun kannalta erilaisille kasvupaikoille soveltuvia taimia.

1.6 Ravinneanalyysin tulkinta

Menestyksellinen taimikasvatus edellyttää, että kasvua rajoittavat tekijät kyetään määrittämään ja korjaamaan. Ravinteiden saatavuus on eräs taimien kasvun perusedellytys. Taimien ulkoisten puutosoireiden sekä kasvualustan ja taimien ravinnetilan arvioinnilla on keskeinen merkitys taimien lannoitustarpeen määrittämisessä. Ulkoiset puutosoireet näkyvät yleensä vasta kun puutetila on voimakas ja kasvu jo selvästi heikentynyt. Ravinnepuutosten määrittäminen näkyvien puutosoireiden avulla perustuu oireiden ilmenemistapaan ja -paikkaan kasvissa (esim. van den Driessche 1984, Marschner 1995). Tulkintaa kuitenkin vaikeuttaa se, että eri ravinteiden puutos- ja toisaalta myrkytystilat voivat aiheuttaa hyvin samantapaisia oireita kasvissa. Lisäksi mm. tautien, hyönteisten, kuivuuden, pakkasen ja torjunta-aineiden aiheuttamat vauriot voivat muistuttaa ravinnepuutosoireita.

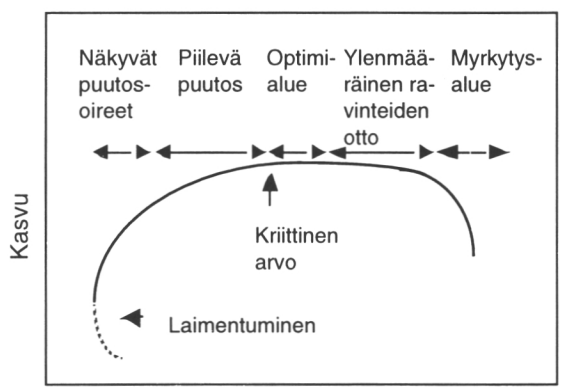
Maa- ja kasvianalyysin paremmuudesta lannoitusohjeiden pohjaksi on keskusteltu paljon. Ravinneanalyysien soveltaminen perustuu koetoiminnassa saavutettuihin tuloksiin kasvualustan tai kasvin ravinnetilan sekä kasvun välisestä riippuvuudesta (Marschner 1995). Maa-analyysi ilmentää käytettävissä olevien ravinteiden määrää ravinnepotentiaalia, jota kasvit voivat hyödyntää suotuisissa olosuhteissa. Kasvianalyysi puolestaan ilmentää pelkästään kasvin ravinnetilaa. Molempien menetelmien samanaikainen käyttö antaa vahvemman pohjan lannoitustarpeen arvioimiseen varsinkin ongelmallisissa tilanteissa.

Taimien ravinnetila on perinteisesti ilmoitettu taimen tai sen osan *ravinnepitoisuutena* (concentration) massayksikköä kohti laskettuna. Jos taimen tai sen osan massa tunnetaan, voidaan ravinnetila ilmoittaa myös *ravinnesisältönä* (content). Ravinnesisältö on taimen tai sen osan massan ja ravinnepitoisuuden tulo. Taimien ravinneanalyysin hyödyllisyyden edellytyksenä on, että analysoitavat näytteet edustavat tutkittavaa kohdetta, minkä vuoksi näytteiden otanta on ratkaisevan tärkeä (Youngberg 1984). Taiminäytteitä on oltava riittävästi ja ne on kohdistettava taimierään oikein. Sekä paljasjuurisilla (Jalkanen ja Rikala 1995) että paakkutaimilla (Rikala ja Jalkanen 1994) taimierän sisäisen ravinnepitoisuuden vaihtelu voi olla varsinkin hivenravinteissa, suurempi kuin morfologisilla tunnuksilla. Männyn paljasjuurisilla taimilla taimieräkohtaiset variaatiokertoimet olivat pääravinteilla (N, P, K) noin 11 % ja hivenravinteilla 20–35 %. Männyn

paakkutaimien vastaavat variaatiokertoimet olivat pääravinteilla 15–20 % ja hivenravinteilla 20–25 %.

Yleensä havupuiden neulasnäytteet suositellaan kerättäväksi ravinneanalyysiä varten syksyllä tai talvella, jolloin ravinnepitoisuuden ajallinen vaihtelu on pienimmillään (esim. Youngberg 1984). Etenkin kasvukauden aikana ravinnepitoisuuden tulkintaa vaikeuttaa se, että neulasen kuivamassasta huomattava osa muodostuu ei-rakenteellisista hiilihydraateista. Niiden määrä vaihtelee voimakkaasti ja on korkeimmillaan jopa 40 % (Linder ja Flower-Ellis 1992, Linder 1995). Tämän vuoksi, vaikka taimi ei kasvaisikaan rakenteellisesti, sen ravinnepitoisuus voi vaihdella ravinnesisällön pysyessä ennallaan. Kesäkauden aikaiseen ravinneseurantaan suositellaankin ei-rakenteellisten hiilihydraattien määrittämistä, niiden osuuden vähentämistä neulasten kuivamassasta ja ravinnepitoisuuksien ilmoittamista neulasten rakenteellista kuivamassaa kohti (Linder 1995).

Käytettäessä ravinneanalyysiä taimien ravinnepuutteiden määrittämiseen on yleensä etsitty niukimmin saatavissa olevaa, eniten kasvua rajoittavaa tai suoranaisia puutosoireita aiheuttavaa ravinnetta. Niinpä käytetyin tulkintatekniikka on ollut ns. *kriittisten pitoisuuksien* tai *optimiarvojen* käyttö (esim. Ingestad 1962, Puustjärvi 1965, Fiedler ym. 1973, Raitio ja Rikala 1982, Landis 1985, 1989b, Viljavuustutkimuksen... 1996). Toinen usein kriittisten pitoisuuksien kanssa yhdessä käytetty menetelmä on *ravinnetasapaino-menetelmä* (esim. Ingestad 1979).



Kuva 1. Kaaviokuva kasvin ravinnepitoisuuden ja kasvun välisestä riippuvuudesta. Piirretty Biggin ja Schalaun (1990) sekä Marschnerin (1995) esittämiä kaaviokuvia mukaillen.

Kriittinen ravinnepitoisuus on määritelty pitoisuudeksi joka on juuri riittävä kasvin maksimikasvuun, ja jota korkeampi pitoisuus ei enää lisää

kasvua (Bigg ja Schalau 1990) (kuva 1). Kriittisten pitoisuuksien käyttö analyysitulosten tulkinnassa perustuu ajatukseen, että kasvun riippuvuus yksittäisen ravinteen pitoisuudesta, silloin kun muiden ravinteiden saanti on riittävää, on jaettavissa kolmeen osaan: puutos-, optimi- ja myrkytysalueeseen (esim. Timmer 1991, Marschner 1995). Kriittisten pitoisuuksien käyttö ravinnetulkinnassa on nopeaa ja helppoa. Se on myös ainoa mahdollinen menetelmä, jos tulkittavana on yksittäinen ravinnearvo. Menetelmän käyttökelpoisuus on kuitenkin asetettu kyseenalaiseksi, koska harvoin esiintyy tilanteita, jolloin vain yhdestä ravinteesta olisi puutetta muiden kasvutekijöiden ollessa optimissa. Lisäksi esitetyt kriittiset ravinnearvot ovat usein kasvilaji- tai jopa kloonikohtaisia, ja niiden käyttökelpoisuus rajoittuu tiettyihin kasvuvaiheisiin ja tietynlaisiin kasvuolosuhteisiin. Esimerkiksi ravinteiden saatavuuden äkillinen heikkeneminen aiheuttaa voimakkaasti lannoitetuissa kasveissa näkyviä puutosoireita korkeammalla ravinnepitoisuusarvolla kuin niukasti lannoitetuissa kasveissa (Marschner 1995).

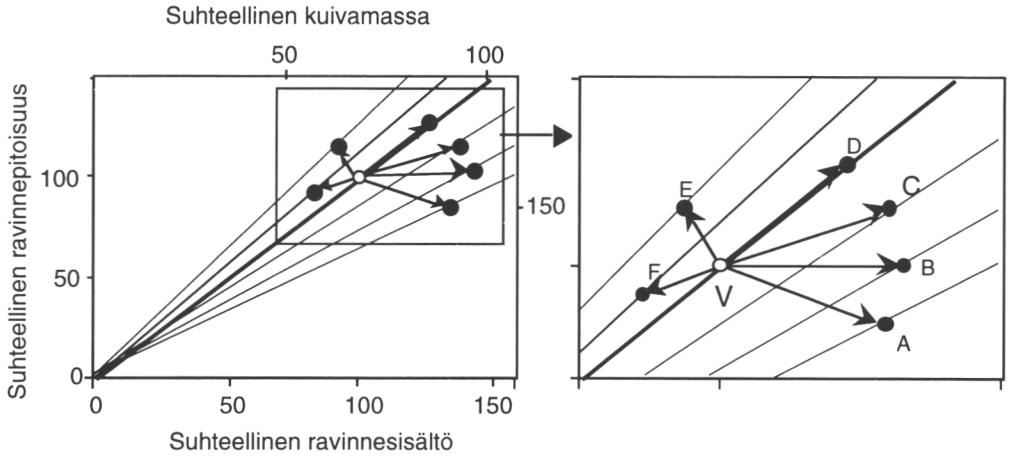
Taimien *ravinnetasapaino-menetelmä* edustaa käsitystä, että kasvien kasvu riippuu sekä kasvissa olevien ravinteiden pitoisuuksista että niiden keskinäisistä suhteista (Timmer 1991). Ingestad (1979) on määrittänyt ravinneliuoskokeiden perusteella nuorille taimille optimaaliset ravinnesuhteet, joissa muut ravinteet on esitetty suhteessa typpeen. Optimiolosuhteissa kasvatettuina kasvien ravinnesuhteet eivät paljon vaihtele edes kasvilajien välillä, mutta silti erilaisissa olosuhteissa kasvatettuna jopa lajin sisäisten ravinnesuhteiden vaihtelu muodostuu suureksi. Ongelmaksi onkin koettu ravinneliuoskasvatusten tulosten yleistäminen muihin kasvatusolosuhteisiin (Timmer 1991).

Pyrkimys tehokkaaseen lannoittamiseen ja optimiravitsemukseen edellyttää kriittiseen pitoisuuteen ja ravinnetasapainoon perustuvia menetelmiä monipuolisempaa ja tarkempaa tulkintaa taimen ravinnetilasta. Tällaista pyrkimystä edustavat kaksi suhteellisen uutta menetelmää, vektorimenetelmä ja DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System). Menetelmät tunnistavat yksittäisen ravinteen tai useiden ravinteiden samanaikaisen puutos- ja myrkkyvaikutuksen, ravinne-epätasapainon sekä selittävät ravinteiden välisiä yhdysvaikutuksia. Molemmat menetelmät on alkuaan otettu käyttöön maatalouskasvien ravinneanalyysien tulkinnassa, mutta niitä on sittemmin sovellettu myös metsäpuiden ravinnetulkintaan (esim. Bigg ja Schalau 1990, Timmer 1991, Haase ja Rose 1995).

DRIS sisältää vähintään kolmen ravinteen suhteiden vertailun normiarvojen kanssa. Menetelmä perustuu ns. hyvin tuottavan populaation, normiryhmän, ja tarkasteltavan koeryhmän väliseen vertailuun. Normina käytetään yleensä laajaa kasvilajikohtaista aineistoa. DRIS-normeja on laadittu havupuista toistaiseksi vain punamännylle (Timmer ja Armstrong 1988), joulupuuna kasvatettavalle virginianpihdalle (*Abies fraseri*) (Rathfon ja Burger 1991) ja radiatamännylle (*Pinus radiata*) (Romanya ja Vallejo 1996). Normiaineiston puuttuessa tutkittavan aineiston hyvin kasvaneita taimia voidaan käyttää vertailuryhmänä. Vertailtavien indeksiarvojen laskentaan käytetään ravinnesuhteita ja niiden variansseja sekä normiryhmän variaatiokerrointa. Laskenta ottaa siis huomioon ao. tunnusten vaihtelun. Tästä syystä menetelmän käyttö vaatii melko suuria näytemääriä.

Timmerin työtovereineen kehittämällä graafisella vektorimenetelmällä voidaan tulkita neulasten ravinnepitoisuuksia ja -suhteita silloin, kun tarkasteltavana on vähintään kaksi erilaista taiminäytettä (esim. eri lannoitusmenetelmillä kasvatettuja taimia tai huonosti ja hyvin kasvavia taimia) (esim. Timmer ja Stone 1978, Timmer ja Armstrong 1987b, 1989, Munson ja Timmer 1989ab, Timmer 1991). Ravinnepitoisuuden laimentuminen ja väkevöityminen sekä ravinnetasapainohäiriöt pyritään selvittämään ottamalla analyysiin mukaan taimien ravinnepitoisuuden ja massan lisäksi niiden ravinnesisältö. Näiden tunnusten esittäminen suhteellisena mahdollistaa eri ravinteiden vertailun samassa kuvassa.

Laimentumisilmiö (dilution effect) tarkoittaa kasvin ravinnepitoisuuden vähenemistä kuivamassatuotannon nopeutuessa (Timmer 1991). Laimentuminen ilmenee yleensä ravinnepuutostilanteessa annettaessa yhtä ravinnetta, jonka aiheuttaman kasvunlisäyksen vaikutuksesta toisen ravinteen pitoisuus laskee. Laimentumiseksi kutsutaan myös kasvin sisäisen rakenteellisen kasvun sekä ravintovarastojen lisääntymisen vuoksi tapahtuvaa ravinnepitoisuuden laskua ravinnesisällön pysyessä muuttumattomana (Marschner 1995). Niinpä nuorten kasviosien ravinnepitoisuus on yleensä korkeampi kuin vanhojen: toisin sanoen kasvien kasvaessa ja vanhetessa niiden ravinnepitoisuus laimenee.



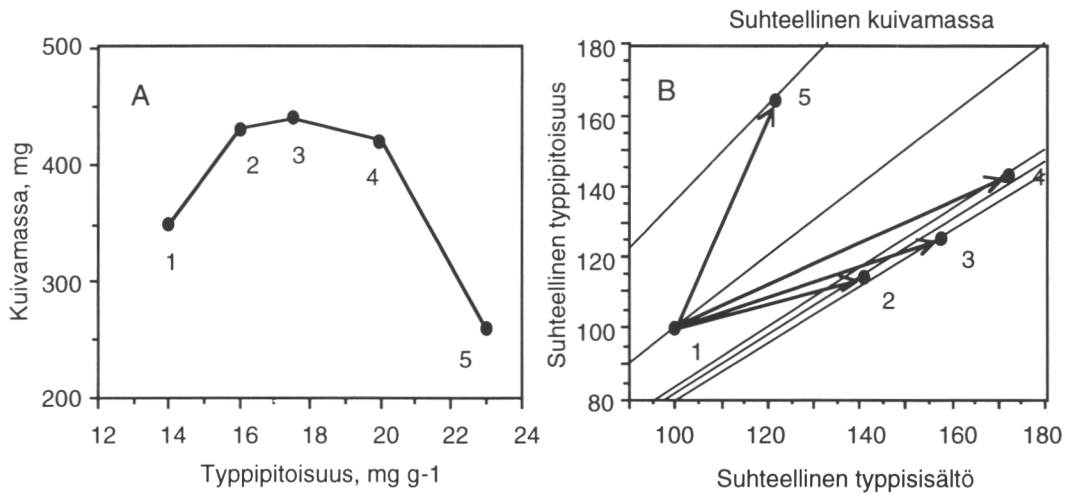
Muutoksen suunta	Taimen massa	Ravinnepitoisuus	Ravinnesisältö	Diagnoosi ja tulkinta
A	+	–	+	ei rajoita kasvua , laimentuminen
B	+	0	+	ei rajoita kasvua, ravinnetta juuri riittävästi
C	+	+	+	rajoittaa kasvua, puutostila
D	0	+	+	ei myrkkyvaikutusta, ylenmääräinen otto
E	–	++	+/–	myrkkyvaikutus, liikaa
F	–	–	–	antagonismi, liikaa

Kuva 2. Kaaviokuva vektorinomogrammin muodostamisesta ja vektoreiden tulkinnasta. Vasemmanpuoleisessa pääkuvassa esitetään nomogrammin muodostamisen periaate ja oikeanpuoleisessa osasuurennoksessa ja kuvan alla olevassa asetelmassa vektoreiden tulkinnat. Vertailukäsittelyn taimen ravinnetila (V) on normalisoitu 100:aan. Vektorit (nuolet) kuvaavat ravinne- ja kuivamassariippuvuutta muiden käsittelyjen taimiin. Asetelmassa on esitetty nomogrammin nuolien osoittamien muutoksien suunnat (+ = lisääntyvä, 0 = ennallaan pysyvä, – = vähenevä) taimien massan, ravinnepitoisuuden ja ravinnesisällön suhteen. Piirretty Timmerin ja Armstrongin (1987b) mukaan.

Vektorimenetelmässä lasketaan eri näytteille, esim. eri lannoitustason kasvatetuille taimille, suhteelliset ravinnepitoisuudet, ravinnesisällöt ja kuivamassat. Vertailtavan (yleensä alimman) lannoitustason taimet saavat vertailuarvon 100 (kuva 2). Saadut suhteelliset arvot sijoitetaan koordinaatistoon, jossa x-akselina on suhteellinen ravinnesisältö ja y-akselina suhteellinen ravinnepitoisuus. Vertailukäsittely asettuu pisteeseen x = 100, y = 100. Muiden käsittelyjen ravinnearvot asettuvat kukin omalle, origon kautta kulkevalle suoralle, joka kuvaa ao. käsittelyn taimien tai niiden ositteen (esim. neulaset) suhteellista kuivamassaa. Vertailupisteestä (100, 100) muiden käsittelyjen pisteisiin piirrettyjen vektorien (nuolien) suunta ja pituus kuvaavat tutkitun kolmen tunnuksen, ravinteiden pitoisuuden ja

sisällön sekä näytteen massan suhteellista eroa vertailukäsittelyyn. Vektorien suunta kuvaa muutoksen laatua ja pituus muutoksen suuruutta.

Seuraava esimerkki kuvaa vektorimenetelmän tulkintaa yksivuotisilla männyn paakkutaimilla, joita kasvatettiin viidellä eri lannoitustasolla (5–80 g N m^{-2}) (aineisto Rikala 1982). Lannoitus kohotti taimien typpipitoisuutta ja taimien kasvu muodosti tyypillisen vasteriippuvuuden typen puutteesta optimin kautta myrkkyvaikutukseen (kuva 3A). Sama ilmaistuna vektorinomogrammissa (kuva 3B) osoittaa, että käsittelyt 2, 3 ja 4 lisäsivät kasvua, typpipitoisuutta ja typpisisältöä käsittelyyn 1 verrattuna, mutta käsittely 5 aiheutti jo myrkkyvaikutuksen. Samoin, jos vertaillaan keskenään käsittelyjä 3 ja 4, huomataan, että käsittelyssä 4 on tapahtunut ylenmääräistä typenottoa käsittelyyn 3 verrattuna.



Kuva 3. Yksivuotiaiden männyntaimien verson kuivamassan riippuvuus ravinnepitoisuudesta (A) ja aineistosta piirretty vektorinomogrammi (B). Numerot (1–5) viittaavat lannoituskokeen lannoitustasoihin (5, 10, 20, 40, 80 g N m^{-2}). (Aineisto: Rikala 1982.)

2 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen yleistavoitteena oli selvittää taimitarhalannoituksen ja -kalkituksen vaikutusta kasvualustan kemiallisiin ominaisuuksiin, metsäpuiden taimien laatuun, kuten taimien rakenteeseen, ravinnetilaan ja pakkaskestävyyteen sekä taimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen. Osatutkimuksissa pyrittiin vastaamaan seuraaviin taimien lannoitusta koskeviin kysymyksiin:

- mikä on happamuuden vaikutus männyn, kuusen ja koivun taimien kasvuun vaaleassa rahkaturpeessa ja mikä on optimihappamuutta vastaava kalkitustarve dolomiittikalkilla ja puuntuhkalla (I)
- mikä on peruslannoitteen ja -kalkin sekoitustasaisuus metsäpuiden taimituotannossa käytettävissä turpeissa (II)
- miten lannoitus vaikuttaa yksi- ja kaksivuotiaiden männyntaimien pakkaskestävyyteen syyskesällä karaistumisen aikana, ja ilmentääkö yksivuotiaiden männyntaimien syysväri tai kuiva-ainepitoisuus niiden pakkaskestävyyttä (III ja IV)
- miten lannoitus vaikuttaa männyn paakku- ja paljasjuuritaimien kehittymiseen ja erityisesti niiden jälkikasvuisuuteen taimitarhalla sekä taimien menestymiseen istutuksen jälkeen (V ja VI).

Lisäksi tarkastellaan kirjallisuuden perusteella erilaisten lannoitusmetelmien käyttöä, neulasten ravinneanalyysin tulkintaa ja lannoituksen vaikutusta taimien mukautumiseen uudistusalalle.

3 Tutkimusympäristö ja -menetelmät

Lannoituksen vaikutusta kasvualustan kemiallisiin ominaisuuksiin ja taimien laatuun selvitettiin sekä paljasjuurisilla että paakkutaimilla. Koekäsittelyjä valittaessa pyrittiin kattamaan taimitarhoilla esiintynyt varsin laaja menetelmävaihtelu (Rikala 1978, Rikala ja Westman 1979). Paakkutaimien kalkitus- ja lannoituskokeissa (I, III, IV, V) kasvualustana oli vaalea, keskikarkea rahkaturve. Paakkutaimikokeet toteutettiin Suonenjoen (62°39'N, 27°03' E; 140 m mpy) (I, III, IV) sekä Pekolammin (63°20' N; 27°25' E, 110 m mpy) (V) taimitarhoilla ja paljasjuuritaimikokeet (VI) Syrjälän taimitarhan (61°53' N, 29°11' E, 90 m mpy) turvesekoitteisessa hiekkamaassa.

Lannoituksen vaikutusta taimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen tutkittiin astia- ja peltokokeissa metsämaata homogeenisempien olosuhteiden saavuttamiseksi (V, VI). Tuloksia ei näin ollen voi täysin yleistää normaalien metsänuudistamiskohteiden olosuhteisiin, mutta näin voitiin välttää sattumanvaraisten, bioottisten tuhojen vaikutukset kokeisiin.

Koetaimista määritettiin neulasten (kaksivuotiset tai vanhemmat taimet) tai versojen (yksivuotiset taimet) pääravinnepitoisuudet (N, P, K, Ca, Mg) ja eräissä kokeissa myös hivenravinnepitoisuuksia (Fe, Zn, B, Cu). Osatutkimuksessa I määritettiin myös juurten ravinnepitoisuudet. Typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (I, III,V,VI) tai LECO CHN-600 analysaattorilla (IV). Muut ravinteet analysoitiin Kurjen (1982) (III,V,VI) ja Halosen ym. (1983) kuvaamilla menetelmillä (I, IV, V).

Turpeen happamuuden vaikutusta selvittävässä kokeessa (I) ja paljasjuuritaimien lannoituskokeissa (VI) määritettiin kasvualustan liukoinen N sekä vaihtuvat P-, K-, Ca- ja Mg-pitoisuudet. Liukoinen N määritettiin tislaamalla 0,2 N K_2SO_4 -uute NaOH:lla ja Dewardan seoksella ja titraamalla vapautunut ammonium boorihappoon. Muut ravinteet määritettiin happamasta (pH 4,65) ammoniumasetaattiuutoksesta (Vuorinen ja Mäkitie 1955). Paakkutaimien lannoituskokeissa kasvualustan ravinnepitoisuudet määritettiin turpeen puristenesteestä (IV, V). Typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (V) ja NH_4- ja NO_3-typen pitoisuudet Tecator 5020 FIA-analysaattorilla (IV) sekä muiden ravinteiden (P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, B, Cu) pitoisuudet plasmaemissiospektrofotometrillä.

Kasvualustan pH- ja johtokykymääritykset tehtiin pääosin Suonenjoen tutkimusasemalla. pH:n ja johtokyvyn mittausta varten turvenäyte lietettiin ionivaihdettuun veteen (1:2,5) ja määritykset tehtiin lietoksesta 1 vrk:n kuluttua sekä osatutkimuksessa II myös 7 vrk:n kuluttua (Vuorinen ja Mäkitie 1955).

Taimen kuiva-ainepitoisuus määritettiin latvasta leikatusta 2 cm:n mittaisesta osasta punnitsemalla se tuoreena ja kuivana (24 h, 105 °C) ja tulos ilmoitettiin kuiva- ja tuoremassan suhteena (Ericsson ym. 1983).

Taimien pakkaskestävyystesteissä taimet altistettiin pakkaselle ilmajäähdytetyissä kammioissa kuuteen, taimien kulloisenkin arvioidun karaistumistason mukaiseen lämpötilaan (III, IV). Lämpötila kammioissa laskettiin 5–6 °C/h tavoitetilaan, joka kesti vähintään 3 tuntia ja nostettiin 6–8 °C/h takaisin huoneen lämpöön.

Yksivuotiailla männyntaimilla pakkasvauriot määritettiin sekä impedanssimenetelmällä (Repo ja Pelkonen 1986, Rikala ja Repo 1987) että silmävaraisesti (III). Impedanssimenetelmässä jokaisen tutkitun käsittelyyhdistelmän taimille määritettiin kullakin pakkastestikerralla taimen rangan poikkipinta-alalla painotetun, ennen ja jälkeen altistuksen mitatun impedanssin erotuksen eli ominaisimpedanssieron kuvaaja altistuslämpötilan funktiona. Tältä kuvaajalta määritettiin ominaisimpedanssieroa $\Delta z = -10\Omega m$ vastaava lämpötila, jota käytettiin pakkaskestävyytenä ($LT_{-10\Omega m}$). Silmävaraisessa määrityksessä pakkasvauriot luokiteltiin kuukauden kuluttua altistuksesta. Pakkaskestävyys määritettiin vaurioiden perusteella lineaarista interpolointia apuna käyttäen LT_{50}- ja LT_{10}-arvoina (lämpötilat, joissa 50 % ja 10 % taimista kuoli). Silmävaraista arviota käytettiin impedanssimenetelmällä määritettyjen pakkaskestävyyksien kontrollointiin.

Kaksivuotiailla männyntaimilla pakkasaltistuksen aiheuttamat vauriot arvioitiin kolmen viikon kasvihuoneessa kasvatuksen jälkeen tuoreimman neulasvuosikerran ruskettumisena 10 %:n luokissa (IV). Taimien pakkaskestävyys määritettiin LT_{50}-lukuna neulasten ruskettumisen perusteella (lämpötila, jossa 50 % neulasista ruskettui) logistisen sigmoidifunktion avulla (Repo ja Lappi 1989).

Mitattujen tunnusten jakaumien normaalisuus testattiin Lillieforssin testillä ja varianssien yhtäsuuruus Bartlettin tai Levenen testillä. Prosenttilukuina esitetyt tunnukset jouduttiin yleensä muuntamaan arcsin-muunnoksella ennen varianssianalyysiä. Yksi- ja kaksisuuntaista varianssianalyysiä (I, II, V, VI) ja kovarianssianalyysiä (VI) käytettiin testattaessa käsittelyjen välisiä eroja sekä taimitarha- että maastokokeissa.

testattaessa käsittelyjen välisiä eroja sekä taimitarha- että maastokokeissa. Pareittaiset keskiarvoerot yksisuuntaisen varianssianalyysin jälkeen testattiin Tukeyn testillä (I, II, IV, VI) tai t-testillä (V) ja kaksisuuntaisen varianssianalyysin jälkeen kontrasteilla (VI). Turpeiden happamuuden ja johtokyvyn vaihtelua (II) kuvattiin käyttäen lineaarista sekamallia (Searle 1971), jossa vaihtelulähteinä olivat turvetuottaja ja karkeusaste (kiinteät tekijät) sekä muovihuone ja näyte eli taimiarkki (satunnaistekijät).

4 Kokeet ja tulokset

4.1 Turpeen happamuus ja taimien alkukehitys (I)

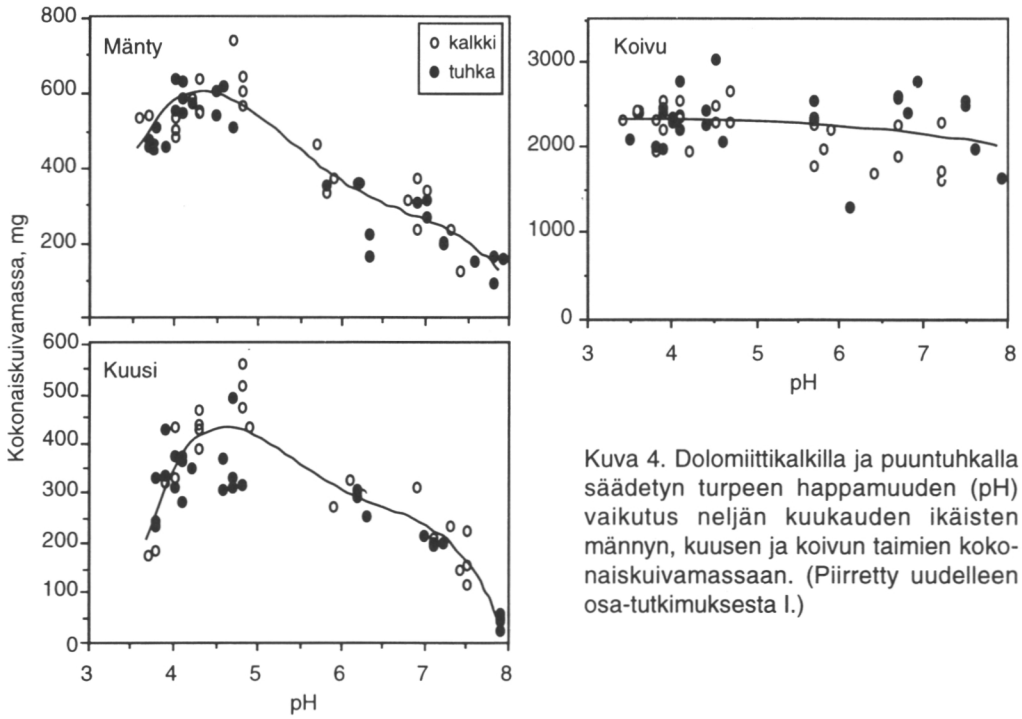
Koejärjestely ja mittaukset

Kahdessa kasvihuonekokeessa tutkittiin dolomiittikalkin ja puuntuhkan määrien (0 kg m^{-3}, 0,5 kg m^{-3}, 1 kg m^{-3}, 2 kg m^{-3}, 4 kg m^{-3}, 8 kg m^{-3} ja 16 kg m^{-3}) vaikutusta vaalean rahkaturpeen happamuuteen, johtokykyyn ja ravinnepitoisuuteen sekä turpeeseen kylvettyjen männyn, kuusen ja koivun siemenien itämiseen ja taimien alkukehitykseen. Koejärjestelynä käytettiin satunnaistettua lohkokoetta, jossa oli 3 (v. 1982) tai 4 lohkoa (v. 1983). Kalkki- ja tuhkakäsittelyjen ruukut (harvennuksen jälkeen 5 tainta/ruukku) oli arvottu satunnaisesti lohkoihin. Taimia lannoitettiin kasteluveden mukana annetuilla moniravinnelannoitteilla. Ensimmäisessä kokeessa tutkittiin männyn, kuusen ja koivun siemenien itämistarmoa (itävyys 7 vrk kylvöstä) ja itämiskykyä (itävyys 21 vrk kylvöstä) sekä taimien morfologisia tunnuksia ensimmäisen kasvukauden päätyttyä. Männylle koe toistettiin seuraavana vuonna, jolloin määritettiin myös versojen ja juurien ravinnepitoisuudet kasvukauden päätyttyä.

Tulokset

Kalkki- ja tuhkamäärän lisääntyessä rahkaturpeen pH kohosi 3,8:sta, ja se läheni kalkilla asymptoottisesti pH-arvoa 7 ja puuntuhkalla pH-arvoa 8. Tuhka nosti voimakkaasti myös turpeen johtokykyä sekä fosfori-, kalium- ja kalsiumpitoisuuksia. Männyn siementen itämistarmo oli voimakkain, kun kasvualustan pH oli alle 5, kun taas koivun siemenet itivät nopeimmin pH-alueella 4–6. Kuusen siementen itämistarmoon eivät kalkki- tai tuhkaannokset vaikuttaneet. Kalkki- ja tuhkakäsittelyillä ei ollut myöskään vaikutusta minkään tutkitun puulajin siementen itämiskykyyn. Männyn ja kuusen taimet kasvoivat parhaiten 0,5–2,0 kg m^{-3} tuhka- ja kalkkilisäyksillä pH:n ollessa 4–5 (kuva 4). Koivulla vastaavaa optimialuetta ei ollut, vaan taimet kasvoivat lähes yhtä hyvin koko tutkitulla pH-alueella (3,5–8,0). Dolomiittikalkki ja puuntuhka olivat vaalean rahkaturpeen kalkitusaineina samanarvoisia. Lisäksi tuhkalla oli lannoitusvaikutus.

Tuhka kohotti selvästi männyntaimien kalium-, mangaani-, sinkki- ja booripitoisuuksia. Fosforipitoisuuteen ei tuhkalla ollut vaikutusta.



Kuva 4. Dolomiittikalkilla ja puuntuhkalla säädetyn turpeen happamuuden (pH) vaikutus neljän kuukauden ikäisten männyn, kuusen ja koivun taimien kokonaiskuivamassaan. (Piirretty uudelleen osa-tutkimuksesta I.)

4.2 Johtokyvyn ja happamuuden vaihtelu metsätaimiturpeissa (II)

Aineisto ja mittaukset

Peruslannoitteen ja -kalkin sekoitustasaisuutta tutkittiin kahden turvetuottajan keskikarkeasta ja karkeasta, metsäpuiden taimien kasvatukseen tarkoitetusta kasvuturpeesta. Turvenäytteet kerättiin neljältä taimitarhalta (Joroinen, Puupelto, Suonenjoki, Syrjälä) arkkeihin täytön ja arkkien muovihuoneisiin siirron jälkeen ennen kastelun aloittamista. Jokaisesta tuottaja-karkeusasteyhdistelmästä (turvetuote) arvottiin viidestä muovihuoneesta kustakin viisi taimiarkkia, joista otettiin kolmen litran turvenäyte. Lisäksi aineistoon otettiin 10 näytettä Vapo-kasvatuslevyistä, joissa kasvatetaan juurileikattavia paakkutaimia ja 10 näytettä ruotsalaisesta Hasselforsin peruskalkitusta, mutta lannoittamattomasta K01-turpeesta. Lannoituksen ja kalkituksen sekoitustasaisuutta kuvattiin turvenäytteiden

vesilietoksesta mitatun happamuuden ja johtokyvyn avulla. Turpeiden happamuuden ja johtokyvyn vaihtelun jakautumista eri vaihtelulähteille, turvetuottaja ja karkeusaste sekä muovihuone ja näyte, kuvattiin lineaarisen sekamallin avulla. .

Tulokset

Tutkittujen turvetuotteiden keskimääräiset pH-arvot olivat 4,5–4,8 yhden vuorokauden ja 4,6–5,1 seitsemän vuorokauden kuluttua näytteiden liettämisestä. Vastaavat turpeen sähkönjohtokyvyt olivat 0,32–0,35 mS cm^{-1} ja 0,43–0,49 mS cm^{-1}. Sekä happamuuden että johtokyvyn keskiarvot poikkesivat turvetuotteiden välillä tilastollisesti merkitsevästi, joskin erot olivat käytännössä pieniä. Vapon turpeiden pH-arvot olivat hieman korkeampia kuin Kekkilän turpeiden ja rakenteeltaan karkeiden turpeiden hieman alhaisempia kuin keskikarkeiden. Peruslannoitteen ja kalkin sekoitustasaisuutta kuvattiin johtokyvyn ja happamuuden (pH) variaatiokertoimilla. Seitsemän vuorokauden kuluttua näytteiden liettämisestä variaatiokertoimet vaihtelivat happamuudessa (pH) 2 %:sta 5 %:iin ja johtokyvyssä 12 %:sta 17 %:iin. Happamuuden vaihtelun eri lähteet olivat keskenään samaa suuruusluokkaa. Sen sijaan arkkien välinen vaihtelu oli johtokyvyn vaihtelun lähteistä selvästi suurin. Johtokyvyn vaihteluväli oli suurimmillaan 0,35–0,61 mS cm^{-1} ja korkein yksittäinen johtokykyarvo oli 0,66 mS cm^{-1}.

4.3 Lannoituksen vaikutus taimien pakkaskestävyyteen (III, IV)

Koejärjestely ja mittaukset

Punaisen syysvärin muodostumista sekä kuiva-ainepitoisuuden ja pakkaskestävyyden kehittymistä seurattiin niukalla (4 g N m^{-2}) ja normaalilla (12 g N m^{-2}) lannoituksella (puristenesteen johtokykynä mitattuna 0,5 ja 1,6 mS cm^{-1}) kasvatetuilla, eteläistä (62° N, 24 E) ja pohjoista (67° N, 26 E) alkuperää edustavilla ensimmäisen vuoden männyn paakkutaimilla Suonenjoen taimitarhalla (63° N, 27° E) (III). Syysvärin kehittymistä seurattiin silmävaraisesti viisiasteisella luokituksella kerran viikossa 15.8.–20.9. Taimien pakkaskestävyys määritettiin yhdeksän kertaa 30.7.–10.10.

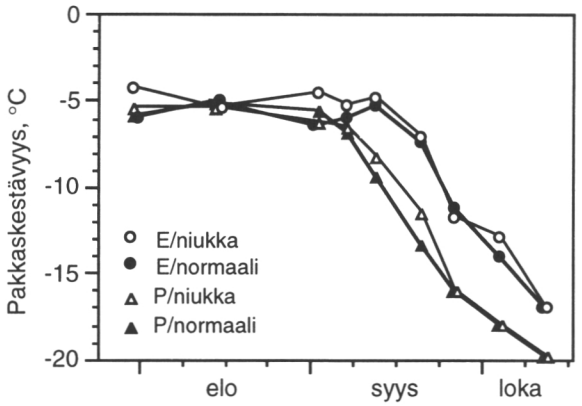
Jokaisella kerralla altistettiin viisi vihreätä ja viisi punaisen syysvärin saanutta tainta kaikista alkuperä-lannoitusyhdistelmistä. Versojen kuiva-ainepitoisuus määritettiin kerran viikossa elo–lokakuun aikana. Taimien versojen ravinnepitoisuudet määritettiin syyskuun lopulla kerätyistä näytteistä.

Osatutkimuksessa IV tutkittiin lannoituksen vaikutusta männyn paakkutaimien pakkaskestävyyden kehittymiseen toisen kasvukauden loppupuolella. Taimien pituuskasvun päättymisen jälkeen heinäkuun alussa taimien lannoitus (NPK+hivenravinteet) eriytettiin kolmelle tasolle, jotka määritettiin kasvualustana käytetyn turpeen puristenesteen johtokykynä (0,2 mS cm^{-1}, 0,5 mS cm^{-1} ja 1,2 mS cm^{-1}). Neulasten pituuskasvua ja ravinnepitoisuutta seurattiin lannoitusjakson aikana. Taimien (12 tainta/lämpötila/lannoituskäsittely) pakkaskestävyys määritettiin neljä kertaa kahden viikon välein 7.8.–18.9.

Tulokset

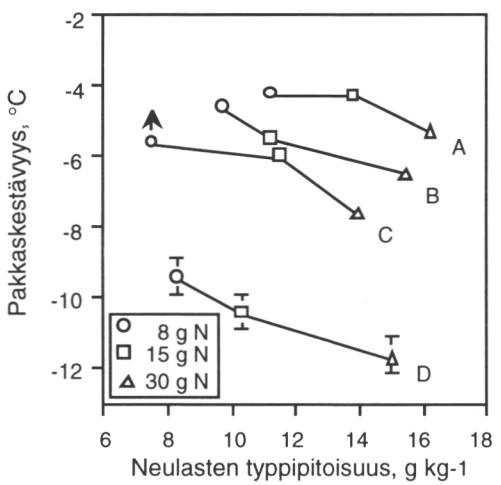
Ensimmäisen vuoden männyntaimet alkoivat punertua kaikissa lannoitus-alkuperäyhdistelmissä elokuun puolivälissä lukuun ottamatta eteläisiä, normaalisti lannoitettuja taimia, joiden punertuminen alkoi vasta noin kuukautta myöhemmin (III). Pohjoisen alkuperän taimilla värin muutos oli nopeampaa kuin eteläisen alkuperän taimilla ja niukasti lannoitetuilla taimilla nopeampaa kuin normaalisti lannoitetuilla taimilla. Vihreiden taimien versojen typpi- ja kuparipitoisuudet olivat kaikissa käsittely-yhdistelmissä korkeammat kuin syysvärin saaneiden taimien versoissa.

Taimien pakkaskestävyyden lisääntyminen alkoi pohjoisen alkuperän taimilla syyskuun alussa ja eteläisen alkuperän taimilla noin kymmentä päivää myöhemmin (kuva 5). Tämä aikaero karaistumisen etenemisessä säilyi koko seurantajakson ajan. Taimien pakkaskestävyys lisääntyi keskimäärin 0,5 °C vuorokaudessa. Lannoituksella ei ollut selvää vaikutusta taimien karaistumisnopeuteen, joskin normaalisti lannoitettujen taimien pakkaskestävyys oli useimpina testiajankohtina hieman korkeampi kuin niukasti lannoitetuilla taimilla. Samassa punertumisvaiheessa olevat normaalisti lannoitetut taimet olivat karaistuneempia kuin niukasti lannoitetut taimet. Sen sijaan samalla tavalla lannoitettujen eri alkuperää olevien taimien välillä ei ollut selvää eroa syysvärin ja pakkaskestävyyden riippuvuudessa.



Kuva 5. Pakkaskestävyyden ($LT_{-10\Omega m}$) kehitys niukasti ja normaalisti lannoitetuilla eteläsuomalaisilla (E) ja pohjoissuomalaisilla (P) ensimmäisen vuoden männyntaimilla. (Piirretty uudelleen osatutkimuksesta III.)

Taimien pakkaskestävyys ei lisääntynyt missään käsittely-yhdistelmässä ennen kuin taimien latvan kuiva-ainepitoisuus nousi 30 %:iin. Kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa 30 %:sta 40 %:iin pakkaskestävyys parani keskimäärin -5 °C:sta -20 °C:een. Pakkaskestävyyden ja kuiva-ainepitoisuuden riippuvuudet kehittyivät kuitenkin hyvin eri tavalla eri käsittely-yhdistelmissä. Myöskään käsittely-yhdistelmien sisällä ei taimien kuiva-ainepitoisuudessa tai pakkaskestävyydessä ollut selvää eroa vihreiden ja syysvärin saaneiden taimien välillä.



Kuva 6. Kaksivuotiaiden männyntaimien pakkaskestävyyden (LT_{50}) riippuvuus neulasten typpipitoisuudesta neljänä testiajankohtana (A = 7.8., B = 21.8., C = 4.9. ja D = 18.9.). Symbolit kuvaavat eri lannoitustasoja (N g m^{-2}) toisen kasvukauden aikana heinä–elokuussa. Nuoli osoittaa, että LT_{50}-arvo oli korkeampi kuin korkein altistuslämpötila (–5,5 °C). Pystyjanat kuvaavat LT_{50}-arvojen keskivirhettä, joista useimmat peittyvät symbolien alle. (Piirretty uudelleen osatutkimuksesta IV.)

Toisena kasvukautena, männyntaimien verson pituuskasvun päättymisen jälkeen annetun lannoiteen määrä vaikutti selvästi neulasten pituuskasvuun (IV). Mitä runsaampi lannoitus, sitä myöhemmin neulasten pituuskasvu päättyi ja sitä pitemmiksi neulaset kasvoivat. Lannoitus lisäsi merkitsevästi myös taimien tyviläpimittaa sekä neulasten typpi-, fosfori- ja

kaliumpitoisuuksia. Typpipitoisuudet olivat käsittelyittäin kasvukauden loputtua, syyskuussa, 8,0 g kg^{-1}, 10,9 g kg^{-1} ja 14,3 g kg^{-1}. Jokaisena neljänä testikertana (7.8.–18.9.) voimakkaimmin lannoitetut taimet kestivät eniten pakkasta (kuva 6). Erot käsittelyjen välillä olivat tilastollisesti merkitseviä, vaihdellen 1 °C:sta 2,2 °C:een testikerroittain. Taimien pakkaskestävyys lisääntyi neulasten typpipitoisuuden kasvaessa. Kalium- ja fosforipitoisuuden ja pakkaskestävyyden riippuvuus ei ollut yhtä selvä.

4.4 Lannoituksen vaikutus taimien kehittymiseen taimitarhalla ja istutuksen jälkeen (V, VI)

Koejärjestelyt ja mittaukset

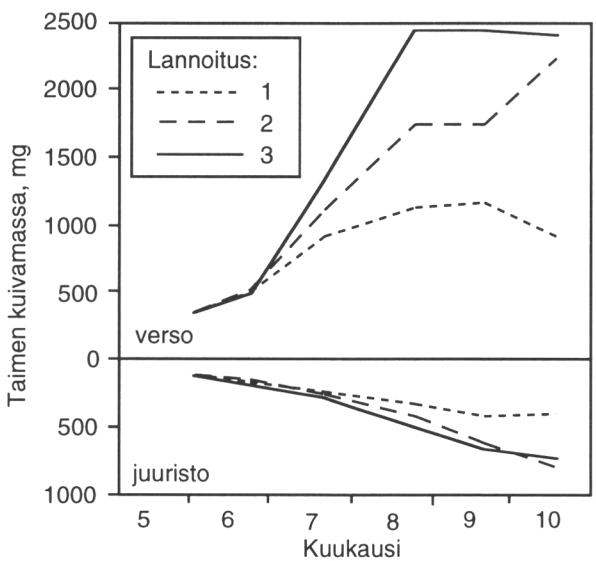
Osatutkimuksessa V tutkittiin lannoituksen vaikutusta männyn paakkutaimien kehittymiseen taimitarhalla toisena kasvukautena, minkä jälkeen niiden menestystä istutuksen jälkeen seurattiin astia- ja peltokokeessa. Taimia kasvatettiin kahden turvetuottajan (Vapo Oy ja Satoturve Oy) metsätaimiturpeissa. Ensimmäisenä vuonna kaikkia taimia lannoitettiin samalla tavalla Pekolammin taimitarhan normaalin käytännön mukaisesti moniravinteisella liuoslannoitteella. Toisena kasvukautena lannoitus eriytettiin kolmeen, turpeen puristenesteen johtokykynä määritettyyn tasoon (0,4–0,8 mS cm^{-1}, 0,9–1,4 mS cm^{-1} ja 1,5–2,5 mS cm^{-1}). Lannoituksen vaikutusta selvitettiin puristeneste- ja kasvianalyysein. Lisäksi seurattiin taimien morfologista kehitystä. Taimien menestymistä istutuksen jälkeen tutkittiin astia- ja peltokokeessa. Astiakokeessa taimia istutettiin hiekalla täytettyihin 12 litran muovilaatikoihin, joissa hiekan vesipitoisuus säädettiin punnitsemalla ja kastelemalla laatikot kolmeen eri kosteustasoon (25 %, 50 % ja 75 % hiekan vesikapasiteetista). Taimien pituuskehitystä seurattiin ja kasvukauden lopulla punnittiin taimien neulasten, rangan ja juuriston kuivamassat ja määritettiin neulasten ravinnepitoisuus. Peltokokeessa taimien elossaoloa ja pituuskehitystä seurattiin neljä vuotta. Kahtena ensimmäisenä syksynä mitattiin myös neulasten pituus ja ravinnepitoisuus.

Osatutkimuksessa VI tutkittiin lannoituksen vaikutusta männyn paljasjuuristen taimien ravinnepitoisuuteen, morfologiaan ja jälkikasvuisuuteen kahdessa taimitarhakokeessa peräkkäisinä vuosina. Ensimmäisessä kokeessa käsittelyinä olivat kolmitasoinen kasvukauden aikainen

hoitolannoitus (ravinnesuhteet keskimäärin N100:P96:K105; typpeä 4,2 g m^{-2}, 6,3 g m^{-2} ja 14,2 g m^{-2}) sekä syyslannoitus (ravinnesuhteet N100:P71:K214; typpeä 0 g m^{-2} ja 1,2 g m^{-2}) ja toisessa kokeessa kolmitasoinen syyskoulintaa edeltänyt peruslannoitus (ravinnesuhteet keskimäärin N100:P247:K73, typpeä 1,8 g m^{-2}, 3,5 g m^{-2} ja 5,2 g m^{-2}) ja seuraavana kasvukautena annettu kolmitasoinen hoitolannoitus (ravinnesuhteet keskimäärin N100:P100:K108; typpeä 2,9 g m^{-2}, 5,6 g m^{-2} ja 18,0 g m^{-2}). Lannoituksen vaikutusta tutkittiin maa- ja kasvianalyyseillä sekä taimien morfologisilla mittauksilla. Eri tavoin lannoitettujen jälkikasvuisten ja vertailutaimien elossaoloa ja pituuskehitystä maastossa istutuksen jälkeen seurattiin 7–8 vuoden ajan.

Tulokset

Lannoitus lisäsi toisena kasvukautena männyn paakkutaimien massaa (kuva 7) sekä jälkikasvuisten taimien osuutta (kuva 8). Taimien verson massa kasvoi elokuun puoleenväliin, mutta juuristo jatkoi kasvuaan aina lokakuulle saakka.

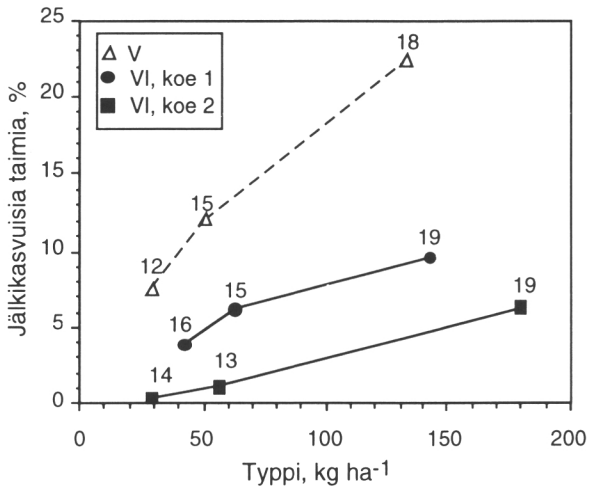


Kuva 7. Männyn paakkutaimien verson ja juuriston kuivamassojen kehitys toisena kasvukautena hoitolannoitustasoittain (1 = 8 g N m^{-2}, 2 = 21 g N m^{-2} ja 3 = 29 g N m^{-2}). (Piirretty uudelleen osatutkimuksen V aineistosta.)

Toisen kasvukauden lannoituksella oli vain vähäinen vaikutus taimien pituuskasvuun, mutta jälkikasvujen osuus lisääntyi lannoitemäärän kasvaessa. Neulasten typpipitoisuus ja jossain määrin fosforipitoisuus laski, mutta kaliumpitoisuus nousi voimakkaimman kasvun aikana kaikissa

lannoituskäsittelyissä. Kasvukauden lopussa neulasten typpi- ja kaliumpitoisuudet olivat sitä korkeammat mitä runsaammin taimia oli lannoitettu. Fosforipitoisuuksien erot tasaantuivat eri käsittelyjen välillä kasvukauden lopulla.

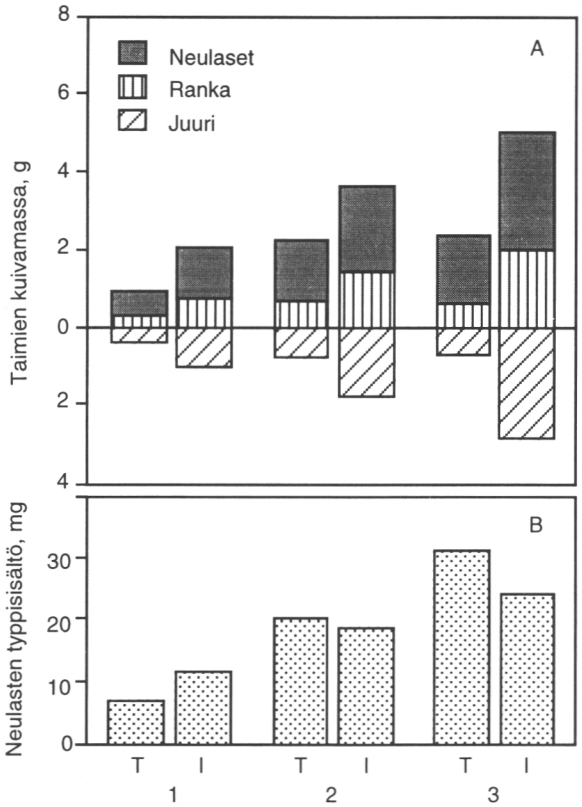
Paljasjuurisilla männyntaimilla koulintaa edeltänyt peruslannoitus ei vaikuttanut taimien kasvuun tai ravinnepitoisuuteen (VI). Sen sijaan seuraavan kesän hoitolannoitus lisäsi taimien, erityisesti neulasten kuivamassaa ja jälkikasvuisten taimien osuutta (kuva 8). Myös neulasten typpipitoisuus kasvoi lannoitteena annetun typen lisääntyessä. Taimien jälkikasvuisuus korreloi voimakkaasti neulasten typpipitoisuuden sekä neulasten pituuden kanssa. Toisen kasvukauden lopulla annettu syyslannoitus ei vaikuttanut mitattuihin taimitunnuksiin.



Kuva 8. Jälkikasvuisten männyntaimien suhteellisen osuuden riippuvuus hoitolannoitteena annetun typen määrästä osatutkimuksissa V (paakkutaimet) ja VI (paljasjuuritaimet). Symbolien yläpuolella olevat luvut ovat neulasten typpipitoisuuksia (g kg^{-1}). (Piirretty uudelleen osatutkimuksista V ja VI.)

Istutuksen jälkeen kaikissa taimissa, sekä astiakokeessa että maastokokeessa, ilmeni voimakkaita istututussokin oireita: uudet neulaset olivat lyhyitä ja kellertäviä, astiakokeessa jopa punertavia. Astiakokeessa neulaset säilyivät vihreimpinä keskimmäisen lannoitustason taimissa. Astiakokeessa ei taimia kuollut ja maastokokeessakin kuoli vain 4 % taimista neljän vuoden aikana. Astiakokeessa kasvualustan kosteudella ei ollut vaikutusta taimien kasvuun. Mitä runsaammin taimia lannoitettiin taimitarhalla, sitä suurempi oli niiden kuivamassan ja juuri-versosuhteen kasvu istutuksen jälkeisenä kesänä (kuva 9A). Neulasten ravinnepitoisuudet laskivat alle puoleen istutusta edeltäneestä syksystä ja pitoisuuserot lannoitustasojen välillä tasoittuivat. Astiakokeessa neulasten typpi- ja fosforisisältö jopa pieneni edelliseen syksyyn verrattuna (kuva

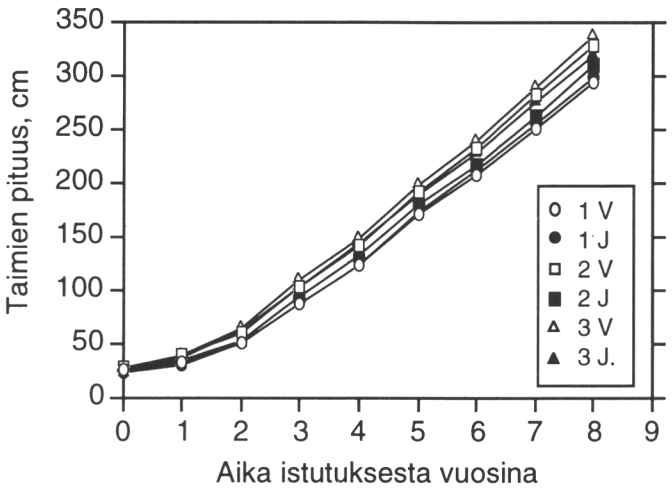
9B). Niukimmin lannoitettujen taimien pituuskehitys oli maastossa merkitsevästi heikompi kuin eniten lannoitettujen taimien.



Kuva 9. Kaksivuotiaiden männyntaimien neulasten, rangan ja juurien kuivamassat (A) sekä neulasten typpisisältö (B) taimitarhakasvatuksen jälkeen (T) sekä yhden kasvukauden kuluttua istutuksesta astiakokeessa (I). Toisena kasvukautena taimitarhalla lannoitteena annettu typpimäärä käsittelyittäin: 1 = 8, 2 = 21 , 3 = 29 g m^{-2}). (Piirretty uudelleen osatutkimuksen VI aineistosta.)

Hoitolannoitus ei vaikuttanut paljasjuuristen männyntaimien elossaoloon istutuksen jälkeen (VI). Sen sijaan lannoitus nopeutti taimien pituuskehitystä neljän ensimmäisen kasvukauden aikana. Vaikka kasvuero myöhemmin pienenikin, olivat eniten lannoitetut taimet 10–15 % pitempiä kuin vertailutaimet vielä 7–8 vuoden kuluttua istutuksesta (kuva 10). Jälkikasvuisten taimien elossaolo ja pituuskehitys olivat hieman heikompia kuin vertailutaimilla. Ero elossaolossa muodostui merkitseväksi vain yhdessä kokeessa kolmesta. Tällöin ero jälkikasvuisten ja vertailutaimien välillä pieneni hoitolannoitemäärän kasvaessa. Pituuskasvuero jälkikasvuisten ja vertailutaimien välillä selittyi taimien istutusvaiheen kokoeroilla. Tämä ero pituuskasvussa pieneni seurannan aikana. Jälkikasvuisina istutetuissa taimissa oli myös ulkoisia muotovikoja enemmän kuin vertailutaimissa, mutta erot pienenivät ja lähes hävisivät seurannan (7–8 vuotta) aikana. Syy

jälkikasvuisten taimien vertailutaimia hieman suurempaan kuolleisuuteen jäi tutkimuksessa epäselväksi.



Kuva 10. Hoitolannoitemäärän (1 = 4,2 g N m^{-2}, 2 = 6,3 g N m^{-2}, 3 = 14,2 g N m^{-2}) vaikutus vertailutaimien (V) ja jälkikasvuisten (J) männyn paljasjuuritaimien pituuskehitykseen istutuksen jälkeen. (Piirretty uudelleen osatutkimuksen VI aineistosta).

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Kasvualustan happamuus ja johtokyky

Dolomiittikalkin turpeen pH:ta nostava vaikutus (I) oli hieman pienempi kuin Williamsin ym. (1988) tutkimuksessa, mutta samaa luokkaa kuin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa (Puustjärvi 1978, 1987). Puuntuhkan vaikutus oli voimakkaampi kuin dolomiittikalkin, ts. tuhka nosti turpeen pH:n korkeammaksi kuin vastaava määrä dolomiittikalkkia. Myös tämä tukee aiemmin saatuja tuloksia (Saarela 1982, 1987).

Männyn siementen itämistarmo laski lievästi kalkki- ja tuhka-annosten kasvaessa ja vastaavasti turpeen pH:n noustessa (I). Siementen itämiskykyyn käsittelyillä ei ollut vaikutusta. Mäntylajeilla siemenien itävyyden on havaittu paranevan happamuuden lisääntyessä (Abouguendia ja Redmann 1979, Raynal ym. 1982), mutta kuusilajeilla pH-optimi on ollut korkeampi (Abouguendia ja Redmann 1979). Tässä tutkimuksessa happamuudella ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta kuusen siemenien itämiseen. Koivun siemenien itämistä heikensivät sekä alhaiset että korkeat pH-arvot (I), mikä tukee koivulla aiemmin saatuja tuloksia (Raynal ym. 1982).

Itämistarmon heikkeneminen suurilla kalkki- ja tuhkamäärillä (I) voi johtua siitä, että korkea hydroksyyli-ionipitoisuus (Thomas ja Wein 1990) viivästytti siementen itämistä, mutta kun kastelun seurauksena kalkitusaineet huuhtoutuivat turpeen pinnasta, lopullisessa itävyydessä erot käsittelyjen välillä jäivät pieniksi. Tätä ajatusta tukee myös Silfverbergin (1995) tulos, jonka mukaan männyn siementen liottaminen tuhkaliuoksessa oli selvästi haitallisempaa itävyydelle kuin liottaminen PK-lannoiteliuoksessa, vaikka molempien liuosten johtokyky oli samaa suuruusluokkaa.

Abouguendian ja Redmannin (1979) mukaan happamuus vaikuttaa voimakkaammin taimien kasvuun kuin siementen itämiseen. Näin olikin männyllä ja kuusella, mutta koivulla happamuuden vaikutus siementen itämiseen oli voimakkaampi (I). Havupuilla taimet kasvoivat parhaiten pH-alueella 4–5, joka saavutettiin 0,5–2,0 kg m^{-3}:n kalkki- tai tuhkalisäyksillä. Koivun taimien kasvuun happamuus ei vaikuttanut juuri lainkaan. Samaan tulokseen päätyivät myös Ingestad (1979) sekä Ericsson

ja Lindsjö (1981). Syyksi myös muissa tutkimuksissa havaittuun havupuiden taimien kasvun heikkenemiseen pH:n kasvaessa on epäilty ravinteiden saannin ja kuljetuksen heikkenemistä (van den Driessche ja Dangerfield 1975, Carter 1987).

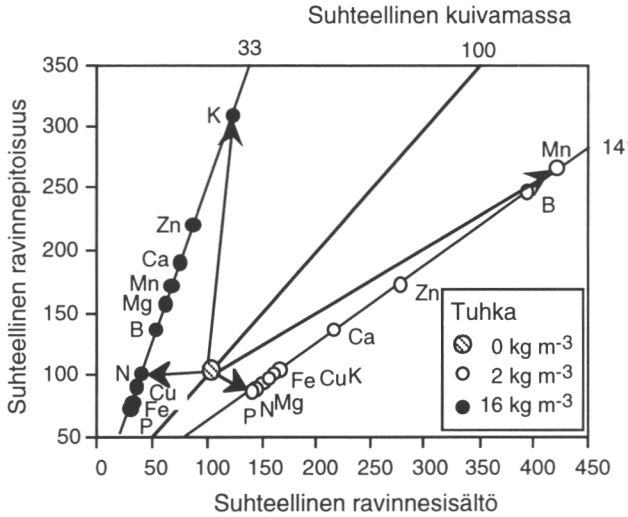
Vaalean rahkaturpeen liiallisen happamuuden neutraloimiseksi sopiva dolomiittikalkkilisäys oli 1–2 kg turvekuutiota kohti (I). Tämä lisäys ei nostanut turpeen pH:ta liian korkeaksi männylle ja kuuselle, mutta takasi taimille riittävän kalsiumin saannin. Se myös estää kasvualustassa mahdollisesti esiintyvän alumiinin liiallisen muuttumisen kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Suomessa metsäpuiden taimikasvatukseen tarkoitettuihin turpeisiin sekoitetaan nykyisin dolomiittikalkkia 2–3 kg turvekuutiota kohti aiemman 6–8 kg:n asemasta.

Dolomiittikalkki ja puuntuhka olivat vaalean rahkaturpeen kalkitusaineina samanarvoisia. Lisäksi tuhka nosti huomattavasti turpeen ravinnepitoisuutta ja johtokykyä. Vaikka suuret tuhka-annokset heikensivät selvästi taimien kasvua, ei heikennys poikennut vastaavien kalkkimäärien kasvua heikentävästä vaikutuksesta (I). Taimitarhalla kasvualustaan sekoitetuilla pienillä tuhkamäärillä (1,5 kg m^{-3}) on saavutettu parhaat kasvutulokset myös istutuksen jälkeen (Rikala 1986). Edellä mainitussa tutkimuksessa suuremmilla tuhka-annoksilla kasvaessa sekä taimien kasvu taimitarhalla että istutuksen jälkeinen menestyminen heikkenivät. Syy tähän oli ilmeisesti epätasapainoinen ravinteiden saanti ja nimenomaan fosforin puutos, silloin kun lisälannoitteita ei käytetty.

Osatutkimuksessa I tuhkan lisäys 2 kg m^{-3} tuotti männyntaimilla suurimman kuivamassan, joka oli 141 % ilman tuhkaa kasvatettuihin taimiin verrattuna. Vektorimenetelmän mukaan tarkasteltuna suuri mangaani- ja boorimuutos ilmensivät näiden ravinteiden voimakasta puutetta ilman tuhkalisäystä kasvatettaessa (kuva 11). Myös sinkistä ja kalsiumista oli enemmän puutetta kuin muista analysoiduista ravinteista. Suurin tuhkalisäys (16 kg m^{-3}) puolestaan tuotti vähiten kuivamassaa (33 % ilman tuhkaa kasvatettuihin verrattuna), ja kaliumin suhteellisen pitoisuuden suuri muutos ilmensi voimakasta myrkkyvaikutusta.

Tulosten mukaan puuntuhkalla voidaan korvata kasvuturpeen peruskalkitus ja -lannoitus, jos samalla turvataan fosforin ja mahdollisesti muiden tuhkassa niukasti esiintyvien ravinteiden saanti hoitolannoituksessa. Samanlaiseen tulokseen on päätynyt Kubin (1987) ja todennut, että tuhkamäärä voi vaihdella 1:stä 3:een kg turvekuutiossa suurempien tuhkamäärien aiheuttaessa taimien kasvun taantumista. Tuhkaa käytettäessä

on sen koostumus kuitenkin tunnettava, koska eri tuhkaerien ravinnepitoisuus vaihtelee ja teollisuustuhkassa saattaa olla vierasaineita (Hakkila 1989), jotka jo alhaisina pitoisuuksina voivat aiheuttaa taimille myrkytyksen.



Kuva 11. Suhteelliset erot männyntaimien neulasten ravinnepitoisuudessa, ravinnesisällössä ja kuivamassassa eniten (2 kg m^{-3}) ja vähiten (16 kg m^{-3}) kuivamassaa tuottaneissa tuhkakäsittelyissä verrattaessa ilman tuhkalisäystä (0 kg m^{-3}) kasvatettuihin taimiin. Vektorit piirretty vain suurimmille ja pienimmille ravinnemuutoksille. (Piirretty osatutkimuksen I aineistosta.)

Suomessa metsäpuiden paakkutaimituotannossa käytetään pääosin teollisesti pakattuja, peruslannoitettuja ja -kalkittuja turpeita. Tutkittujen turvetuotteiden happamuudessa ja johtokyvyssä oli tilastollisesti merkitseviä eroja (II), jotka ilmentävät vastaavia eroja peruslannoitukseen ja kalkitukseen käytettävien lannoitteiden ja kalkin määrissä ja koostumuksessa. Näitä eroja voidaan kuitenkin pitää varsin pieninä ja taimien kasvun kannalta merkityksettöminä.

Taimikasvatuksen kannalta on tärkeää, että turvetuotteiden ja erityisesti turve-erien sisäinen fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien vaihtelu on mahdollisimman pieni, koska se vaikuttaa kasvatettavan taimierän laadun sisäiseen tasaisuuteen (Whitcomb 1988). Koska turve-erän lannoitus ja kalkitus toteutetaan yleensä yhtenä ajona, kuvattiin tässä tutkimuksessa turvetuotteiden sisäistä, sekoitusprosessin ajallista vaihtelua muovihuoneiden sisäisellä eli taimiarkkien välisellä vaihtelulla. Tämä vaihtelu on taimituotannon kannalta olennainen, koska kasvatustoimenpiteet yleensä kohdistuvat samanlaisina yhden muovihuoneen taimiin. Myös arkkien sisäinen homogeenisuus on tärkeää, sillä nykyään yleisimmin käytettävissä paakkutyyppeissä jokainen taimi kasvaa erillisessä kennossa ja taimi on koko kasvatusajan pelkästään ao. kennosta

saatavien ravinteiden varassa. Turpeen happamuuden ja johtokyvyn vaihtelua yksittäisten paakkujen välillä ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan voitu selvittää.

Kaikkiaan happamuuden vaihtelu jakautui melko tasaisesti tutkituille vaihtelun lähteille. Muovihuone oli vaihtelun lähteenä samaa suuruusluokkaa kuin esimerkiksi turvetuottaja. Variaatiokertoimella mitattuna turpeen happamuuden vaihtelu muovihuoneen sisällä oli samaa luokkaa kuin Puustjärvi (1976) on mitannut aiemmin vaaleista kasvuturpeista. Vaihtelua voidaan pitää pienenä ja kalkitustasaisuutta riittävänä, koska kaikki mitatut pH-arvot pysyivät männyn, kuusen ja koivun taimille soveltuvaksi katsotun (I) happamuuden vaihteluvälin puitteissa.

Peruslannoituksen tasaisuutta ilmentävän turpeen vesilietoksen johtokyvyn vaihtelun lähteistä suurin oli arkkien välinen vaihtelu. Variaatiokertoimella mitattuna turvetuotteiden sisäinen vaihtelu oli kuitenkin selvästi pienempi kuin Puustjärven (1976) mittaama vaihtelu. Kaikkien tutkittujen turvetuotteiden sähkönjohtokyvyn keskiarvo (0,44 mS cm^{-1}) vastaa vedellä kyllästetystä turvenäytteestä mitattua arvoa 1,3 mS cm^{-1} ja kasvatuskosteasta (45 til.-%) turpeesta otetusta näytteestä arvoa 2,7 mS cm^{-1} (käytetty muuntokerroin, Rikala 1996). Laajin 7 vuorokauden kuluttua liettämisestä mitattu erän sisäinen vaihtelu oli 0,35–0,61 mS cm^{-1}, mikä vastaa kasvatuskosteudesta mitattuna vaihteluväliä 2,3–3,6 mS cm^{-1}. Peruslannoitetun turpeen korkea johtokyky voi kasvatuksen alkuvaiheessa heikentää herkkien havupuun taimien veden- ja ravinteidenottoa (Landis 1989a). Tosin Folk ym. (1992) ovat kyseenalaistaneet ennen kasvatusta turpeesta mitatun johtokyvyn merkityksen taimien kehittymiselle. Kuitenkin Suomessa, missä toisin kuin esim. Kanadassa (Landis 1990b, Donald 1991), käytetään peruslannoitettua turvetta, voi peruslannoitteen sekoitustasaisuudella olla tärkeä merkitys taimien kehittymiseen ja kasvun tasaisuuteen.

Turpeen peruslannoituksen tarpeellisuutta sinänsä kannattaa pohtia, sillä vaikka peruslannoite voidaankin sekoittaa riittävän tasaisesti, aiheuttaa ylimääräinen turpeen sekoitus sen rakenteen murentumista ja heikkenemistä (Landis 1990b, Heiskanen 1994b). Lisäksi peruslannoitteessa käytetään osittain helppoliukoisia ravinteita, joiden huuhtoutumisriski on itämisen aikaisen runsaan kastelun johdosta suuri (Juntunen ym. 1996). Nykyisillä, tasaisesti kastelevilla kastelurampeilla annettavalla lannoiteliuoksella voitaisiin useissa tapauksissa korvata peruslannoitteina annettavat ravinteet. Myös peruskalkituksen tarpeellisuus uudenaikaisilla

paakkutaimitarhoilla on kyseenalaistettu (Landis 1990b). Paljasjuuritarhoilla dolomiittikalkkia suositellaan edelleen käytettäväksi, mutta paakkutaimitarhoilla on sen sijaan ehdotettu käytettäväksi vesiliukoista kalsiumlannoitetta, joka turvaisi turpeeseen sekoitettavaa dolomiittikalkkia paremmin pienten taimien kalsiumin saannin (Landis 1996).

5.2 Lannoitus ja taimien karaistuminen

Kasvukauden aikana annetun lannoitteen määrä ei juuri vaikuttanut ensimmäisen vuoden männyntaimien pakkaskestävyyteen syksyllä (III). Hellergren (1981) päätyy samanlaiseen tulokseen karaisemattomilla ensimmäisen kesän männyntaimilla, mutta karaistuneilla taimilla runsas lannoitus heikensi hieman pakkaskestävyyttä. Toisen kasvukauden aikana loppukesällä annettu runsas lannoitus hidasti männyntaimien neulasten pituuskasvun päättymistä, mutta lisäsi silti taimien pakkaskestävyyttä (IV). Tämä poikkeaa aiemmasta käsityksestä, jonka mukaan kasvun päättyminen on yhdistetty karaistumisen alkamiseen (Weiser 1986, van den Driessche 1991b). Neulasten pituuskasvun päättymisellä ei ilmeisesti ole taimien karaistumiskehitykselle samaa merkitystä kuin verson pituuskasvun päättymisellä. Toisaalta japaninlehtikuusella (*Larix leptolepis*) (Hansen 1992) ja douglaskuusella (Hawkins ym. 1995) myöhään jatkuneen lannoituksen on todettu viivästyttäneen taimien verson pituuskasvun päättymistä niin, että sillä ei ole ollut vaikutusta taimien karaistumiseen. Samoin Bigrasin ym. (1989) mukaan pituuskasvun päättyminen ei ollut katajalla (*Juniperus chinensis*) karaistumisen alkamisen edellytys.

Osatutkimuksen IV perusteella ei voida erottaa eri ravinteiden vaikutusta pakkaskestävyyteen. Neulasten typpipitoisuudet olivat kuitenkin kahdessa vähiten lannoitetussa käsittelyssä suositusarvoja (esim. Ingestad 1979, Landis 1989) alhaisempia, mutta fosforista ja kaliumista ei ollut puutetta. Onkin todennäköistä, että juuri typen alhainen pitoisuus heikensi kahden alimman lannoituskäsittelyn taimien pakkaskestävyyttä. Vaikka runsaimmin lannoitetut taimet kestivät eniten pakkasta, erot pakkaskestävyydessä olisivat voineet olla vieläkin suuremmat, mikäli neulasten pituuskasvu olisi päättynyt samanaikaisesti kaikissa käsittelyissä.

Alhaisten lämpötilojen indusoiman antosyaanisynteesin aiheuttamaa (Nozzolillo ym. 1990, Camm ym. 1993) punaista syysväriä on pidetty yksivuotiaiden männyntaimien karaistumisen merkkinä (Langlet 1942, Jonsson ym. 1981). Osatutkimuksessa III todettiin, että pohjoisempi

alkuperä karaistui ja sai punaisen syysvärinsä nopeammin kuin eteläinen alkuperä. Myös lannoitus vaikutti syysvärin muodostumiseen. Niukasti lannoitettujen taimien väri muuttui aikaisemmin kuin normaalisti lannoitettujen taimien. Syysväriä ei kuitenkaan voida pitää luotettavana pakkaskestävyyden indikaattorina, koska karaistumisen ja värin muuttumisen aikataulu oli erilainen eri käsittely-yhdistelmissä ja lannoitus vaikutti voimakkaasti taimen väriin, mutta ei pakkaskestävyyteen. Tarkasteltaessa taimien värivaihtelua, pakkaskestävyyttä ja kuiva-ainepitoisuutta käsittely-yhdistelmien sisällä havaittiin, että elo–syyskuun vaihteessa punaisten ja vihreiden taimien välillä oli eroja sekä kuiva-ainepitoisuudessa että pakkaskestävyydessä, mutta ne pienenivät ja hävisivät syyskuun loppuun mennessä.

Taimien latvojen kuiva-ainepitoisuutta on suositeltu käytettäväksi karaistumisen mittarina (esim. Rosvall-Åhnebrink 1977, Ericsson ym. 1983, Calme ym. 1993, Luoranen ym. 1994, Krasowski ym. 1995). Männyn ensimmäisen vuoden taimilla karaistuminen alkoi, kun kuiva-ainepitoisuus kasvoi yli 30 %:n (Rosvall-Åhnebrink 1977, Calme ym. 1993), mutta karaistumisen jatkuessa pakkaskestävyys ja kuiva-ainepitoisuus kehittyivät eri tavalla eri lannoitus-alkuperä-yhdistelmissä (III). Myöskään ulkomaisilla kuusilla ja pihdoilla ei kuiva-ainepitoisuus ilmentänyt yksiselitteisesti eri puulajien lyhytpäiväkäsiteltyjen ja vertailutaimien karaistumista (Konttinen ja Rikala 1996). Yhtä yleispätevää kuiva-ainepitoisuusarvoa ei voidakaan määrittää niin, että se ilmentäisi samaa pakkaskestävyyttä puulajista ja alkuperästä, taimen iästä tai kasvatusohjelmasta riippumatta. Kuitenkin eri taimialkuperille ja kasvatusohjelmille lienee löydettävissä omat pakkaskestävyyttä ilmentävät kuiva-ainepitoisuuden kriittiset arvot.

5.3 Lannoitus, taimien morfologia ja ravinnetila

Suomessa paljasjuuritaimien kasvatuksessa lannoitteina annettavista ravinteista keskimäärin 40 % typestä, 70 % fosforista ja 60 % kaliumista annetaan peruslannoituksen yhteydessä (Rikala 1978). Ero esimerkiksi englantilaiseen käytäntöön verrattuna (Proe 1994) on selvä typen ja fosforin käytössä. Englannissa typpi annetaan hidasliukoisena, jos lainkaan, ja fosforia annetaan taas pelkästään peruslannoituksen yhteydessä. Vaikka osatutkimuksessa VI syyskoulintaa edeltäneen peruslannoituksen osuus oli lähes puolet (N 33%, P 55 % ja K 43 %) koko

kasvatuksen aikana annetuista ravinteista, ei peruslannoituksella ollut koulintavuonna vaikutusta koulittujen, paljasjuuristen männyntaimien kasvuun tai ravinnepitoisuuteen.

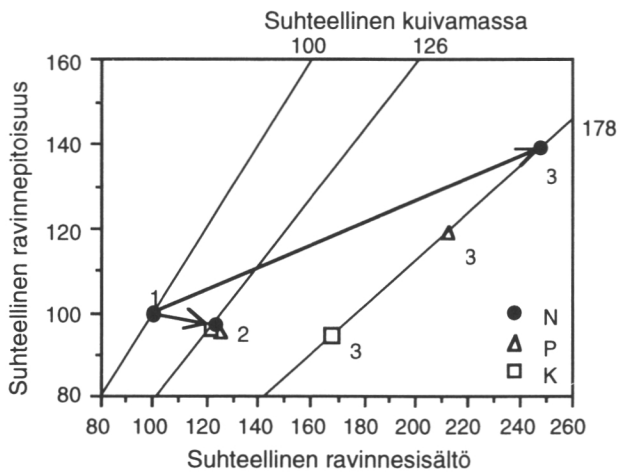
Peruslannoituksen vähäinen vaikutus johtunee siitä, että koulinnan jälkeen taimien veden- ja ravinteidenotto on usein huomattavasti heikentynyt (Sands 1984). Lannoitteiden kasvualustan suolapitoisuutta kohottava vaikutus korostaa tätä rasitustilannetta (Benzian 1966). Todennäköisesti tämän vuoksi kaksivuotisina syyskoulittujen männyntaimien neulaset punertuivat ja niiden typpipitoisuus oli syksyllä varsin alhainen (VI). Peruslannoitus ei vaikuttanut seuraavanakaan kesänä taimien kasvuun tai ravinnepitoisuuteen. Ilmeisesti valtaosa annetuista ravinteista huuhtoutui syksyn ja talven aikana (van der Boon ja Niers 1983). Vaikka taimitarhamaiden efektiivinen kationinvaihtokapasiteetti on Suomessa yleensä riittävä pidättämään lannoituksessa lisätyt ravinteet vaihtuvaan muotoon (Wéstman 1983), tulisi syyskoulinta-alan peruslannoituksella pyrkiä korjaamaan vain selvät analyysillä todetut hivenravinteiden puutteet ja pitäytyä hidasliukoisten ravinteiden käyttöön.

Kasvukauden aikana annetun lannoitemäärän (hoitolannoite) lisääminen kasvatti sekä männyn paljasjuuri- että paakkutaimien kokoa ja kuivamassaa samansuuntaisesti kun on aiemmin osoitettu (esim. Ingestad 1962, Anttila ja Lähde 1977, van den Driessche 1980, Rikala 1986). Kaksi- ja kolmivuotiailla männyntaimilla massan lisäys kohdistui pääosin neulasiin. Lannoituksen on yleensä todettu pienentävän taimien juuri-versosuhdetta (esim. Duryea 1984). Tässä tutkimuksessa lannoituksen vaikutus paljasjuuritaimien (VI) juuri-versosuhteeseen oli vähäinen, mutta kaksivuotiailla paakkutaimilla (IV, IV) lannoitus pienensi selvästi juuri-versosuhdetta.

Lannoitus lisäsi merkitsevästi jälkikasvuisten männyntaimien osuutta (V ja VI). Nimenomaan typen rooli jälkikasvun esiintymisessä vaikutti keskeiseltä. Jälkikasvuisuus on ominaisuus, joka kytkeytyy voimakkaasti myös säähän ja taimien perimään (esim. Rudolph 1964). Niinpä männyn taimien jälkikasvun laukaiseva typpimäärä vaihtelee muiden tekijöiden mukaan. Jälkikasvuisuuden eliminoiminen pelkästään lannoitusta vähentämällä onkin vaikeaa niin, että se ei samalla johda taimien heikkoon ravinnetilaan.

Taimien neulasten typpipitoisuus kohosi lannoituksen myötä, mutta varsinkin yli vuoden ikäisillä taimilla lisäys oli vähäinen. Sen sijaan neulasten typpisisältö kasvoi voimakkaasti. Pitoisuuden vähäisempi kasvu tai jopa pieneneminen johtuu siitä, että lannoitus saa aikaan voimakkaan

kasvun, mutta se ei riitä ylläpitämään korkeata ravinnepitoisuutta taimissa (esim. Timmer 1991). Vektorimenetelmä vahvistaa tätä tulkintaa. Osatutkimuksen V molemmissa kokeissa lannoitemäärän lisääminen alimmalta keskimmäiselle tasolle alensi neulasten typpipitoisuutta, mutta lisäsi sekä kuivamassaa että typen määrää (kuva 12). Lannoituksen lisääminen edelleen korkeimmalle tasolle nosti myös typpipitoisuutta. Vektorimenetelmän mukaan tulkittuna alimmalla tasolla (vertailu) oli puutetta typestä ja fosforista. Keskimmäinen lannoitustaso lisäsi taimien massaa, mutta aiheutti ravinteiden lievän laimentumisen. Korkein lannoitustaso lisäsi edelleen massaa, mutta sekä typen että fosforin vektorit ovat pitkiä ja suunta osoittaa niistä olleen puutetta kun taas kaliumia oli riittävästi. Koska analyysit on tehty neulasista eikä koko taimista, on myös mahdollista, että keskimmäisen lannoitustason taimilla ravinteita on siirtynyt juuriin syyskesällä, ja tämä on voinut aiheuttaa ravinteiden laimenemisen neulasissa.



Kuva 12. Suhteelliset erot männyn paljasjuuristen taimien neulasten ravinnepitoisuudessa, ravinnesisällössä ja kuivamassassa hoitolannoituskäsittelyjen (1 = 2,9 g N m^{-2}, 2 = 5,6 g N m^{-2}, 3 = 18,0 g N m^{-2}) välillä vektorinomogrammitarkasteluna. Vektorit piirretty vain typelle. (Piirretty osatutkimuksen VI taimitarhakoe 2:n aineistosta.)

Käytännön paakkutaimituotannossa ravinteet annetaan yleensä kastelulannoituksena samalla tavalla kuin nyt paakkutaimilla toteutetuissa kokeissa (III, IV, V), joissa lannoitustaso määritettiin puristenesteen johtokykynä. Havupuun taimille sopivana, kyllästetystä turvevermikuliittikasvualustasta mitattuna johtokykynä on pidetty 1,0–2,5 mS cm^{-1}:iä (esim. Phillion ja Bunting 1983, Timmer ja Parton 1984) vastaten 45 tilavuus-% kosteasta turpeesta puristetun nesteen johtokykynä noin 2–5 mS cm^{-1} (Rikala 1996), mikä vaikuttaa melko korkealta.

Tämän tutkimuksen perusteella nyt käytetyillä lannoitteilla ensimmäisen vuoden männyntaimille sopivana puristenesteen johtokykynä kesäkuussa voidaan pitää 1,0–1,5 mS cm^{-1} ja toisena kasvukautena 0,5–1,0 mS cm^{-1}.

Poiketen aiemmin noudatetusta käytännöstä (Rikala 1978) kasvualustan ravinnepitoisuus tulee pitää riittävänä aina syyskuulle saakka taimien ravinnepitoisuuden voimakkaan laskun välttämiseksi. Heinäkuussa lannoitus voi olla vähäisempää, mutta elokuussa johtokykyarvon ei tulisi laskea alle 0,5 mS cm^{-1}:n. Tällöin on syytä seurata myös kasvualustan typpipitoisuutta, koska Suomessa syyskesällä käytettävät lannoitteet sisältävät runsaasti kaliumia ja fosforia suhteessa typpeen (Rikala 1996).

Vaikka taimien verso ei kasva enää mainittavasti elo-syyskuussa, juuristo jatkaa kasvuaan (V, Miller ja Timmer 1997). Typen puutostilanteessa taimet tyydyttävät ensisijassa juuriston typen tarpeen (Ingestad 1977) ja verson typpipitoisuus saattaa laskea. Lannoituksen liian varhainen lopettaminen voi myös heikentää taimien hallatuhonkestävyyttä syyskesällä (IV). Toisaalta lannoituksen jatkaminen pidensi neulasten pituuskasvukautta, mikä saattaa altistaa taimet tautituhoille (Lilja ym. 1997). Lannoituksen niukentaminen tai keskeyttäminen heinäkuussa saattaisi pysäyttää neulasten pituuskasvun ja lannoituksen jatkaminen elo–syyskuussa lisäisi taimien ravinnepitoisuutta ja pakkaskestävyyttä.

Koulinta-alalle annettu syyslannoitus ei tässä tutkimuksessa vaikuttanut männyntaimien kokoon eikä ravinnepitoisuuteen (VI). Kokeessa käytettiin ilmeisesti liian pientä lannoitemäärää (1,2 g N m^{-2}). Suonenjoen taimitarhalla toteutetussa syyslannoituskokeessa vasta noin 4 g N m^{-2} -annos kohotti lievästi männyntaimien neulasten typpipitoisuutta (Rikala, julkaisematon aineisto). Myös useilla muilla havupuulajeilla tehdyissä syyslannoituskokeissa vasta 5–14 g N m^{-2} -typpilisäys on kohottanut taimien typpipitoisuutta (esim. Benzian ym. 1974, Thompson 1983, van den Driessche 1985, Margolis ja Wareing 1986, Simpson 1988, Gleason ym. 1990, Duryea 1990).

Vaihtelevat syyslannoitustulokset saattavat myös johtua sääolosuhteista. Männyn taimien ravinteidenotto on riippuvainen kasvualustan lämpötilasta (Korpilahti ym. 1995). Männyllä ravinteidenotto puoliintuu lämpötilan laskiessa 10 °C lämpötila-alueella 5–25 °C (Jensén ja Petterson 1980). Vuosina 1981–91 maan lämpötilan (5 cm:n syvyydessä 7 vrk:n liukuvana keskiarvona) 8 °C:n rajan alittamisajankohta vaihteli Suonenjoen taimitarhalla elokuun 20 päivän ja syyskuun lopun välisenä aikana (Suonenjoen tutkimusaseman säähavaintoaineisto). Tämän mukaan syyslannoitus tulisi ajoittaa jo elokuun puolelle.

Taimitarhat käyttävät etupäässä kaupallisia, valmiiksi sekoitettuja, pää- ja hivenravinteita sisältäviä lannoitteita. Ravinteiden suhteet lannoitteissa

vaihtelevat, ja kuten paljasjuuristen taimien lannoituksessa (Rikala 1978), myös paakkutaimikasvatuksessa on tapana lannoittaa kasvukauden alkupuolella runsastyppisellä ja loppupuolella runsaasti fosforia ja kaliumia sisältävällä lannoitteella. Suomessa tosin myös alkukesällä käytettävät kaupalliset lannoitteet sisältävät huomattavasti runsaammin fosforia ja kaliumia kuin Ingestadin (1979) ravinneliuoskasvatusten perusteella antama suositus (N100:P13:K65) edellyttää. Orgaanisessa kasvualustassa eri ravinteiden käyttökelpoisuus kuitenkin poikkeaa ravinneliuoskasvatuksesta (esim. Puustjärvi 1985, Timmer 1991). Kasvien ravinteidenotto on myös osittain valikoivaa (Mengel ja Kirkby 1982). Taimien pääravinnepitoisuuksien suhteet poikkesivatkin yksivuotiailla männyntaimilla (osatutkimus V: N100:P15:K65) huomattavasti lannoitteen ravinnesuhteista ja oli lähellä Ingestadin (1979) antamaa suositusta. Myös Scarratt (1986) toteaa, tutkittuaan useiden erilaisten kaupallisten lannoitteiden vaikutuksia banksinmännyn taimiin, että lannoitteiden ravinnesuhteilla ei ollut vaikutusta ainakaan taimien ensimmäisen kesän kasvuun eikä ravinnepitoisuuteen. Samantapaiseen tulokseen päätyivät myös Troeng ja Ackzell (1988) yksivuotiaalla männyllä.

Suomessa taimitarhoilla yleisesti käytettävillä superex 5- ja 9-lannoitteilla (Kekkilä Oy) (N:P:K-suhteet; 5: 100:37:232 ja 9: 100:27:103) lannoitettujen männyntaimien neulasten N:P:K-pitoisuussuhteet olivat toisena kasvukautena keskimäärin 100:16:81 (V). Vaikka lannoitteiden ravinnepitoisuuden ja neulasten ravinnesuhteiden merkitystä taimille ei voida arvioida tämän tutkimuksen perusteella, näyttää kuitenkin siltä, että myös kaksivuotisten männyntaimien ravinteidenotto on verraten valikoivaa eikä lannoitteiden ravinnekoostumus vaikuta kovin paljon taimien ravinnesuhteisiin, kun ravinteita on riittävästi saatavilla.

5.4 Taimien ravinnetila ja menestyminen istutuksen jälkeen

Tulokset taimitarhalannoituksen vaikutuksesta istutustaimien *eloonjäämiseen* ovat ristiriitaisia (esim. Duryea ja McClain 1984). Pienten, yksivuotiaiden männyn paakkutaimien pituuskasvu taimitarhalla ja taimien elossaolo istutuksen jälkeen lisääntyi selvästi lannoitemäärän lisääntyessä (Rikala 1986). Vanhemmilla paakku- tai paljasjuuritaimilla ei vastaavaa vaikutusta ilmennyt (IV, V). Osittain lannoituksen seurausta ovat

taimitarhoilla taimissa joskus havaittavat jälkikasvut. Jälkikasvujen on arveltu ilmentävän taimien heikompaa stressinkestävyyttä (Lavender 1984). Tutkimuksissa jälkikasvusta ei yleensä ole kuitenkaan todettu olevan haittaa taimien myöhemmälle kehitykselle (Rudolph 1964). Samaan johtopäätökseen tultiin männyn taimien jälkikasvujen vaikutusta tutkittaessa (VI). Hieman suuremmasta kuolleisuudesta ja heikommasta pituuskehityksestä huolimatta jälkikasvuverson ei katsottu aiheuttavan taimen hylkäystarvetta. Ensimmäisinä vuosina istutuksen jälkeen jälkikasvuisissa taimissa esiintyneet muotoviat hävisivät myöhemmin samalla tavalla kuin kasvuhäiriöisten taimien seurantakokeissa (Raitio ym. 1992).

Taimitarhalla annetun lannoitemäärän lisääminen paransi männyllä sekä paljasjuuri- (V) että paakkutaimien (VI) *pituuskasvua* maastossa. Yleensä lannoitusvaikutus on kuitenkin perustunut enemmän voimakkaasti lannoitettujen taimien suurempaan kokoon kuin neulasten korkeampaan ravinnepitoisuuteen (esim. Duryea ja McClain 1984), eivätkä eri tavalla lannoitettujen taimien kasvunopeudet istutuskokoon suhteutettuna ole poikenneet toisistaan (van den Driessche 1991b). Taimen ravinnepitoisuuden ja kuivamassan yhdistävä tunnus, ravinnesisältö, on ennustanut hyvin taimien istutuksen jälkeistä kasvua (Landis 1985). Kuitenkin pelkästään taimien ravinnepitoisuus on myös korreloinut istutuksen jälkeisen menestymisen kanssa. Mustakuusen taimien syyslannoitus nosti taimien ravinnepitoisuutta taimitarhalla vaikuttamatta taimen kokoon ja näiden taimien ravinnepitoisuus korreloi istutuksen jälkeisen pituuskasvun kanssa (Timmer ja Munson 1991). Myös koulituilla paljasjuurisilla männyntaimilla säilyi lannoituksen pituuskasvua lisäävä vaikutus edelleen merkitsevänä, vaikka istutuspituuden vaikutus poistettiin käyttämällä sitä analyysissä kovariaattina (VI).

Taimitarhalla eri tavalla lannoitettujen taimien neulasten ravinnepitoisuuserot tasoittuivat maastossa jo istutuskesänä sekä männyn kaksivuotisilla paakkutaimilla (V) että kolmivuotiailla paljasjuuritaimilla (VI). Tulokset tukevat Troengin (1988) havaintoja siitä, että kuusen- ja männyntaimien taimitarhalannoituksella aikaansaadut ravinnepitoisuuserot häviävät jo kuukauden kuluessa istutuksesta.

Istutussokki liitetään tavallisesti taimien veden puutteeseen ja sitä seuraavaan haihdunnan vähenemiseen (esim. Hallman ym. 1978, Örlander 1984). Istutussokkiin voivat johtaa juurten kuivumisen lisäksi monet tekijät, kuten kasvualustan alhainen lämpötila (Rikala ja Puttonen 1988) tai maan liiallinen tiivistyminen (Omi 1986). Astiakokeessa kasvualustan

lämpötila, kuivuus tai tiivistyminen eivät kuitenkaan voineet aiheuttaa taimissa istutussokin oireita (VI). Taimet eivät joko kyenneet ottamaan vettä riittävästi kosteastakaan alustasta tai ne eivät saaneet riittävästi ravinteita. Jälkimmäinen tuntuu todennäköisemmältä, koska paakkutaimien juuret eivät kärsineet kuivuudesta ennen istutusta ja ne kasvoivat voimakkaasti kaikissa kosteuskäsittelyissä. Neulasten ravinnepitoisuuden voimakas lasku istutuskesänä selittynee ravinteiden siirtymisellä uuteen kasvuun (Fife ja Nambiar 1984) tilanteessa, jolloin taimi ei saa riittävästi ravinteita maasta. Se, että myös ravinnesisältö neulasissa pieneni, viittaa puolestaan ravinteiden siirtymiseen myös juuristoon (Troeng 1988, Ferrier ja Alexander 1991, Marschner ym. 1996). Eniten lannoitettujen taimien juuri-versosuhteen suuri kasvu tukee tätä olettamusta (V).

Taimien ravinnepuutos astiakokeessa johtui kasvualustan alhaisesta ravinnepitoisuudesta. Maastokokeessa, jossa kasvualusta oli ravinnerikkaampi kuin astiakokeessa eivät istutussokin oireet, neulasten lyhyys ja kellertävyys sekä alhainen ravinnepitoisuus, olleet niin voimakkaita kuin astiakokeessa. Myös valkokuusen ja engelmanninkuusen (*Picea engelmanni)* paakkutaimien mukautumista tutkittaessa on todettu, että taimien heikko alkumenestys voi usein johtua pikemminkin ravinteiden kuin veden puutteesta (Burdett ym. 1984).

Osatutkimuksessa VI kasvualustan ravinnepitoisuus oli humussekoituksen vuoksi korkeampi kuin osatutkimuksessa V. Ilmeisesti tästä syystä runsaasti lannoitettujen taimien istutussokin oireet olivat vähäisempiä osatutkimuksessa VI kuin osatutkimuksessa V. Toisaalta on myös mahdollista, että paljasjuuritaimien (VI) veden- ja ravinteidenotto heti istutuksen jälkeen on tehokkaampaa kuin paakkutaimilla (V). Runsaasti lannoitetut taimet kuitenkin mukautunevat istutusalalle sitä paremmin, mitä runsasravinteisempi kasvualusta on. Viljavalla istutusalalla kahden alimman lannoitustason taimien ravinnepitoisuudet nousivat istutusvuonna (VI), kun taas astiakokeessa (V) kaikkien lannoitustasojen taimien pääravinnepitoisuudet laskivat jopa puoleen taimitarhalla kasvukauden loputtua mitatuista ravinnepitoisuuksista. Eniten lannoitetuilla taimilla myös pituuskasvu heikkeni myöhemmin keskimmäiseen lannoitustasoon verrattuna, ja ilmentää mahdollisesti istutussokin pitkäaikaisempia vaikutuksia (V).

Istutuksen jälkeinen ravinnepuute saattaa heikentää taimien mukautumista ja kehittymistä niukkaravinteisilla uudistusaloilla. Ajatus, että taimet tulisi sopeuttaa jo taimitarhalla istutuksen jälkeisiin olosuhteisiin

(Mullin ja Bowdery 1977, Burdett ym. 1984), saa jonkin verran tukea tässä tutkimuksessa (V). Troengin ja Ackzellin (1988) mukaan erityisesti kookkaat ja korkean ravinnepitoisuuden omaavat männyntaimet saattavat kasvaa heikosti ja kärsiä voimakkaasta ravinnepitoisuuden vähenemisestä karulla kasvupaikalla. Ravinnepuutos saattaa myös vaivata viljavammallakin kasvupaikalla, jos taimet istutetaan paljastettuun niukkaravinteiseen kivennäismaahan. Istutuskohdan humussekoituksen on todettu nopeuttavan taimien mukautumista istutuksen jälkeen (Hallsby 1995), mikä ainakin osittain johtunee kasvualustan paremmasta ravinnetilasta puhtaaseen kivennäismaahan verrattuna (Hallsby 1994).

Mänty ja kuusi ilmeisesti eroavat toisistaan taimien ravinnepitoisuuden ja istutuksen jälkeisen kasvun riippuvuudessa. Troengin (1988, 1989) mukaan männyntaimien istutuksen jälkeinen kehitys on riippuvainen istutuspaikan ravinneoloista eikä niinkään taimien ravinnepitoisuudesta istutettaessa. Sen sijaan kuusella kehitys määräytyy alkuvaiheessa mäntyä voimakkaammin taimien ravinnepitoisuudesta kasvupaikasta riippumatta. Munson ja Timmer (1989a, 1989b) puolestaan osoittivat, että myös mustakuusen taimien istutuksen jälkeisen ensimmäisen ja toisen vuoden kasvut olivat voimakkaasti riippuvaisia uudistusalan ominaisuuksista. Taimille tarhalla annetun typpilannoituksen kasvua lisäävä vaikutus oli voimakkain niukkaravinteisilla kasvupaikoilla (Timmer ja Munson 1991). Myös loblollymännyllä (*Pinus taeda)* ravinnetankkaus paransi taimien menestymistä karulla, mutta ei viljavalla kasvupaikalla (Barber 1991). Mustakuusella ravinnetankkaus stimuloi taimien ravinteiden ottoa myös istutuksen jälkeen ja paransi taimien kilpailukykyä pintakasvillisuutta vastaan (Malik ja Timmer 1995).

Kasvupaikan ravinneolojen vaikutuksen perusteella voitaisiin olettaa, että lannoitus istutuksen yhteydessä nopeuttaisi taimien mukautumista ainakin karuilla istutusaloilla. Istutuslannoituksesta ei Suomessa kuitenkaan ole todettu olevan selvää hyötyä paljasjuurisille taimille (Viro 1966, Huuri 1980), vaan päinvastoin helppoliukoisista lannoitteista oli suoranaista haittaa (Leikola ja Rikala 1974). Sen sijaan hitaasti liukeneva kuparihienofosfaatti paransi Pohjois-Suomessa etenkin männyn paljasjuuristen taimien elossa pysymistä (Pohtila 1972). Westmanin (1976) mukaan istutuksen yhteydessä paakkuun annettu ammoniumtyppi paransi männyn yksivuotiaiden taimien pituuskehitystä ja jopa elossaoloa erityisesti niukkaravinteisella kasvupaikalla. Hidasliukoisilla lannoitteilla lannoittaminen on istutuksen yhteydessä parantanut taimien kasvua

muutaman ensimmäisen vuoden aikana (Carlson ja Preisig 1981, Arnott ja Burdett 1988, Brand ja Janas 1988). Paakkutaimilla reaktio on ollut voimakkaampi kuin paljasjuurisilla taimilla (Burdett ym. 1984, van den Driessche 1991b). Saattaakin olla, että Suomessa pääosin paljasjuuritaimista saadut istutuslannoituskokemukset eivät ole suoraan sovellettavissa paakkutaimi-istutuksiin.

6 Johtopäätökset

Taimien lannoitus ja kasvualustan happamuus vaikuttivat lähes kaikkiin mitattuihin taimien laatua kuvaaviin tunnuksiin. Vaaleassa rahkaturpeessa männyn ja kuusen taimet kasvoivat parhaiten pH-alueella 4–5, mikä saavutettiin 0,5–2,0 kg m^{-3}:n tuhka- tai kalkkilisäyksillä. Koivulle ei vastaavaa optimia ollut, vaan taimet kasvoivat lähes yhtä hyvin koko tutkitulla pH-alueella (3,5–8,0). Dolomiittikalkki ja puuntuhka olivat vaalean rahkaturpeen kalkitusaineina samanarvoisia. Suomessa metsäpuiden taimitarhoilla käytettyjen, teollisesti pakattujen turpeiden sisäinen happamuuden vaihtelu oli vähäistä ja kalkitustasaisuutta voidaan pitää taimikasvatuksen kannalta riittävänä. Sen sijaan peruslannoitetasaisuus vaihteli voimakkaimmin taimiarkkien välillä muovihuoneen sisällä, mikä saattaa lisätä taimierän sisäistä laatuvaihtelua.

Syyskoulintaa edeltävä peruslannoitus ei vaikuttanut taimien kasvuun. Nykyisenlaisen peruslannoituksen käyttö vaikuttaa ainakin syyskoulinnoissa tarpeettomalta ja ravinteiden huuhtoutumista ajatellen jopa vahingolliselta. Sen sijaan kasvukauden aikainen hoitolannoitus lisäsi männyn paljasjuuristen ja paakkutaimien kokoa sekä ravinnepitoisuutta mutta samalla myös jälkikasvuisten taimien osuutta. Syyslannoitus ei taas vaikuttanut paljasjuuristen männyntaimien ravinnetilaan ilmeisesti käytetyn lannoitemäärän pienuuden vuoksi.

Lannoituksen vaikutus ensimmäisen vuoden männyntaimien karaistumiseen syksyllä oli vähäinen. Vaikka toisen kasvukauden aikana, loppukesällä annettu runsas lannoitus hidasti männyntaimien neulasten pituuskasvun päättymistä, se silti lisäsi taimien pakkaskestävyyttä. Ensimmäisen vuoden männyntaimien karaistumisen merkkinä pidetty punainen syysväri ja taimien latvojen kuiva-ainepitoisuus eivät osoittautuneet yksiselitteisiksi karaistumisen ilmentäjiksi.

Taimitarhalla annetun lannoitteen määrä ei vaikuttanut männyntaimien istutuksen jälkeiseen elossaoloon. Sen sijaan taimissa ilmeni istutussokin oireita, jotka olivat sitä voimakkaampia, mitä runsaammin taimia oli lannoitettu. Sokkioireista huolimatta istutettujen taimien pituuskehitys parani taimitarhalla annetun lannoitemäärän lisääntyessä. Männyntaimien jälkikasvusta ei ollut merkittävää haittaa taimien myöhemmälle kehitykselle.

Näissä tutkimuksissa runsaimmin lannoitettujen taimien neulasten ravinnepitoisuudet vastasivat nykyisiä suositusarvoja. Näitä pitoisuuksia selvästi korkeammat pitoisuudet saattavat kirjallisuuden mukaan hidastaa taimien karaistumiskehitystä ja heikentää niiden pakkaskestävyyttä. Vaikka taimien korkea typpipitoisuus parantaa taimien kasvua istutuksen jälkeen, se saattaa samalla altistaa taimet myös hyönteis-, eläin- ja tautituhoille.

Tämä tutkimus ja taimien lannoitusta käsittelevä kirjallisuus osoittivat, että nykyisistä taimien ravinnepitoisuussuosituksista ei ole syytä poiketa. Taimien kasvuhäiriö- ja ravinnepuutosoireiden selvittämiseen optimiarvoja monipuolisemman ja havainnollisemman menetelmän tarjoaa kuitenkin tässä tutkimuksessa esitelty ja sovellettu vektorimenetelmä silloin kun myös taimien kuivamassatiedot ovat käytettävissä.

Kirjallisuus

Abouguendia, Z.M. & Redmann, R.E. 1979. Germination and early seedling growth of four conifers on acidic and alkaline substrates. Forest Science 25: 358–360.

Anderson, H.W. & Gessel, S.P. 1966. Effects of nursery fertilization on outplanted Douglas-fir. Journal of Forestry 64: 109–112.

Andersson, S., Jensen, P. & Söderström, B. 1996. Effects of mycorrhizal colonization by Paxillus involutus on uptake of Ca and P by Picea abies and Betula pendula grown in unlimed and limed peat. New Phytologist 133: 695–704.

Anttila, T. & Lähde, E. 1977. Lannoituksen vaikutus paperikennoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa. Summary: Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery. Folia Forestalia 314. 19 s.

Armson, K. & Sadreika, V. 1974. Forest tree nursery soil management and related practices. Ministry of Natural Resources, Ontario. 179 s.

Arnott, J.T. & Burdett, A.N. 1988. Early growth of planted western hemlock in relation to stock type and controlled-release fertilizer application. Canadian Journal of Forest Research 18: 710–717.

Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (Pinus silvestris L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. Studia Forestalia Suecica 155. 27 s.

Arovaara, H. & Ilvesniemi, H. 1991. The effects of soluble inorganic aluminium and nutrient imbalances on Pinus sylvestris and Picea abies seedlings. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.) Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 715–733.

Barber, B.L., Messina, J.S., Buijtenen, J.P. & Wall, M.M. 1991. Influence of nursery fertilization, site quality, and weed control on first-year performance of outplanted loblolly pine. Teoksessa: Proceedings of the Sixth Biennal Southern Silvicultural Research Conference. Memphis, Tennesee. October 30 – November 1, 1990. Volume 1. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE-70: 27–37.

Benzian, B. 1966. Nutrition experiments in forest nurseries. Quaterly Journal of Forestry 60: 94–100.

— , Brown, R.M. & Freeman, S.C.R. 1974. Effect of late-season top-dressing of N (and K) applied to conifer transplants in the nursery on their survival and growth on British forest sites. Forestry 47: 153–184.

Bigg, W.L. & Schalau, J.W. 1990. Mineral nutrition and the target seedling. Teoksessa: Rose, R., Campbell, S.J. & Landis, T.D. (toim.) Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations August 13–17, 1990 Roseburg, Oregon USDA Forest Service General Technical Report RM-200. s. 139–160.

Bigras, F.J., Rioux, J.A., Paquin, R. & Therrien, H.P. 1989. Action des fertilisations tardives sur le genévrier (Juniperus chinensis 'Pfitzerna aurea' cultivé en contenants. Abstract: Effect of late fertilization on container-grown junipers (Juniperus chinensis 'Pfitzerana' 'Aurea'). Canadian Journal of Plant Science 69: 967–977

— , Gonzales, A., D'Aoust, A. & Hébert, C . 1996. Frost hardiness, bud phenology and growth of containerized Picea mariana seedlings grown

at three nitrogen levels and three temperature regimes. New Forests 12: 243–259.
Brand, D. G. & Janas, P.S. 1988. Growth and acclimation of planted white pine and white spruce seedlings in response to environmental conditions. Canadian Journal of Forest Research 18: 320–329.
Brix, H. & van den Driessche, R. 1974. Mineral nutrition of container-grown tree seedlings. Teoksessa: Tinus, W.R., Stein, W.I. & Balmer, W.E. (toim.) Proceedings of the North American containerized forest tree seedling symposium. Denver Colorado 26–29. 1974. Great Plains Agricultural Publication 68: 77–84.
Burdett, A., Herring, L. & Thompson, C. 1984. Early growth of planted spruce. Canadian Journal of Forest Research 14: 644–651.
Burgess, D. 1990. White and black spruce seedling development using the concept of relative addition rate. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 471–480.
— , Hay, D. & Etheridge, P. 1991. Containerized black spruce seedling development under exponential fertilizer additions. Teoksessa: Donnelly, F.P. & Lussenburg, H.W. (toim.) Proceedings of the 1991 British Columbia meeting. Forest Nursery Association of B.C. s. 54–58.
Camm, E., Mccallum, J., Leaf, E. & Koupaiabyazani, M. 1993. Cold-induced purpling of Pinus contorta seedlings depends on previous daylength treatment. Plant, Cell and Environment 16: 761–764.
Calme, S., Margolis, H.A. & Bigras, F. J. 1993. Influence of cultural practices on the relationship between frost tolerance and water content of containerized black spruce, white spruce, and jack pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 23: 505–511.
Carlson, W.C. & Preisig, C.L. 1981. Effects of controlled-release fertilizers on the shoot and root development of Douglas-fir seedlings. Canadian Journal of Forest Research 11: 230–242.
Carter, M.R. 1987. Seedling growth and mineral nutrition of Scots pine under calcareous soil conditions. Soil Science 144: 175–180.
Chavasse, C.G.R. 1980. Planting stock quality: a review of factors affecting performance. New Zealand Journal of Forestry 25: 144–171.
Christersson, L. 1973. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers. I. The effect of varying potassium and calcium and magnesium levels on water content, transpiration rate, and the initial phase of development of frost hardiness of Pinus silvestris L. seedlings. Studia Forestalia Suecica 103. 26 s.
— 1975. Frost-hardiness development in Pinus silvestris L. seedlings at Different levels of potassium and calcium fertilization. Canadian Journal of Forest Research 5: 738–740.
— 1976. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers II. The effect of varying potassium and calcium contents on water status and drought hardiness of pot-grown Pinus silvestris L. and Picea abies (L.) Karst. seedlings. Studia Forestalia Suecica 136. 23 s.
— & von Fricks, H. 1988. Injuries to conifer seedlings caused by simulated summer frost and winter desiccation. Abstract: Kesähallojen ja talvisen kylmäkuivumisen aiheuttamat vauriot havupuiden taimilla. Silva Fennica 22: 195–201.
Cordell, C.E., Owen, J.H. & Marx, D.H. 1987. Mycorrhizae nursery management for improved seedling quality and field performance. Teoksessa: Landis, T.D. (tekn. koord.) Meeting the Challenge of the Nineties: Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association, August 10–14, Oklahoma City, Oklahoma. Forest Service.Rocky

Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-151: 105–115.
Coutts, M.P. & Philipson, J.J. 1977. The Influence of mineral nutrition on the root development of trees. III Plasticity of root growth in response to changes in the nutrient environment. Journal of Experimental Botany 28: 1071–1075.
Cronberg, N. 1990. Åtgärder för kontroll av lungmossa i planteskole-miljö. Skogshögskolan, Garpenberg. Plantnytt 1. 4 s.
DeHayes, D.H., Ingle, M.A. & Waite, C.E. 1989. Nitrogen fertilization enhances cold tolerance of red spruce seedlings. Canadian Journal of Forest Research 19: 1037–1043.
Dickson, A., Leaf, A.L. & Hosner, F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. Forestry Chronicle 36: 10–13.
Donald, D.G.M. 1991. Nursery fertilization on conifer planting stock. Teoksessa: van den Driessche, R. (toim.) Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press Press, Boca Raton – Ann Arbor – Boston. s. 135–168. ISBN 0-8493-5971-6.
Duryea, M.L. 1984. Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 143–164.
— (toim.) 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest research laboratory. Proceedings of the workshop held October 16–18,1984. Oregon State University, Corvallis. s. 59–71. ISBN 0-87437-000-0.
— 1990. Nursery fertilization and top pruning of slash pine seedlings. Southern Journal of Applied Forestry 14: 73–76
— & McClain, K.M. 1984. Altering seedling physiology to improve reforestation success. Teoksessa: Duryea, M.L. & Brown, G.N. (toim.) Seedling physiology and reforestation success. s. 77–114.
Elad, Y. & Chet, I. 1987. Possible role of competition for nutrients in biocontrol of Phytium damping-off by bacteria. Phytopathology 77: 190–195.
Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Projekt energi-skogsodling (ESO), teknisk rapport No.11. 13 s.
Ericsson, A., Lindgren, A. & Mattson, A. 1983. Effects of cold-storage and planting date on subsequent growth, starch and nitrogen content in Scots pine (Pinus sylvestris) and Norway spruce (Picea abies) seedlings. Studia Forestalia Suecica 165. 17 s.
Ferrier, R.C. ja Alexander, I.J. 1991. Internal redistribution on N in sitka spruce seedlings with partly droughted root systems. Forest Science 37: 860–870.
Fiedler, J.H., Nebe, W. & Hoffman F. 1973. Forstliche Pflanzen-ernährung und Düngung. Veb Gustav Fischer Verlag. Jena. 481 s.
Fife, D.N. & Nambiar, E.K.S. 1984. Movement of nutrients in radiata pine needles in relation to the growth of shoots. Annals of Botany 54: 303–314.
Fisher, J. T. & Mexal, J. G. 1984. Nutrition management: a physiological basis for yield improvement. Teoksessa: Duryea, M.L. & Brown, G.N. (toim.) Seedling physiology and reforestation success. s. 271–299.

Folk, R.S., Timmer, V.R. & Scarratt, J.B. 1992. Evaluating peat as a growing medium for jack pine seedlings. 1. Conventional quality indices. Canadian Journal of Forest Research 22: 945–949.

Gleason, J.F., Duryea, M., Rose, R. & Atkinson, M. 1990. Nursery and field fertilization of 2+0 ponderosa pine seedlings: the effect on morphology, physiology and field performance. Canadian Journal of Forest Research 20: 1766–1772.

Grossnickle, S.C. & Folk, R.S. 1993. Stock quality assessment: forecasting survival or performance on a reforestation site. Tree Planters' Notes 44: 113–121.

— , Arnott, J.T. & Major, J.E. 1991. Influence of dormancy induction treatments on western hemlock seedlings. II Physiological and morphological response during the first growing season on a reforestation site. Canadian Journal of Forest Research 21: 175–185.

— , Major, J., Arnott, J. & Lemay, V. 1991. Stock quality assessment through integrated approach. New Forest 5: 77–91.

Haase, D. & Rose, R. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. Forest Science 41: 54–66.

Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 568 s. ISBN 3-540-50299-8, ISBN 0-387-50299-8.

Hallman, E., Hari, P., Räsänen, P. K. & Smolander, H. 1978. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis, and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun. Acta Forestalia Fennica 161. 26 s.

Hallsby, G. 1994. The influence of different forest organic matter on the growth of one-year old planted Norway spruce seedlings in a greenhouse experiment. New Forests 8: 43–60.

— 1995. Field performance of outplanted Norway spruce: effects of organic matter amendments and site preparation. Canadian Journal of Forerst Research 25: 1356–1367.

Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.

Handreck, K.A. & Black, N.D. 1984. Growing media for ornamental plants and turf. Kensington, Australia: New South Wales University Press. 401 s.

Hansen, J.M. 1992. Effects of nutritional factors on frost hardening in Larix leptolepis (Sieb & Zucc.) Gord. Scandinavian Journal of Forest Research 7: 183–192.

Hawkins, B., Davradou, M., Pier, D. & Shortt, R. 1995. Frost hardiness and winter photosynthesis of Thuja plicata and Pseudotsuga menziesii seedlings grown at three rates of nitrogen and phosphorus supply. Canadian Journal of Forest Research 25: 18–28.

Heikinheimo, O. 1940. Metsäpuiden taimien kasvatus taimitarhassa. Referat: Versuche im Baumschulen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 29.1. 97 s.

Heiskanen, J. 1993a. Variation in water retention characteristics of peat growth media used in tree nurseries. Silva Fennica 27: 77–97.

— 1993b. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 337– 358.

— 1994a. Hydrological properties of peat-based growth media. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 524. 41 s. + liitteet.

— 1994b. Mechanical container filling alters texture and water retention of peat growth media. HortTechnology 4: 286–288.
Hellergren, J. 1981. Frost hardiness development in Pinus silvestris seedlings in response to fertilization. Physiologia Plantarum 52: 297–301.
Holopainen, J.K., Rikala, R., Kainulainen, P. & Oksanen J. 1995. Resource partitioning to growth, storage and defence in nitrogen-fertilized Scots pine seedlings to the tarnished plant bug Lygus rugulipennis. New Phytologist 131: 521–532.
Hultén, H. 1980. Fröplantans utveckling under tillväxtfasen (Pinus silvestris L.). Summary: Seedling development during the first growth period (Pinus silvestris L.). Sveriges Lantbruksuniversitet Institutionen för skogsproduktion Rapport 2. 134 s.
Husted, L.D. 1988. Douglas-fir dieback. Teoksessa: Landis, T.D.(tekn. koord.). Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations; 1988, August 8–11. Vernon, British Columbia. U.S.Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report RM-167: 161–164 .
Huuri, O. 1973a. Taimitarhanoston suoritustavan vaikutus kuusen ja männyn taimien alkukehitykseen. Summary: The effect of nursery lifting methods on initial development of spruce and pine transplants. Folia Forestalia 177. 25 s.
— 1973b. Kenttävarastoinnin suoritustavan vaikutus kuusen taimien alkukehitykseen. Summary: The effect of field storage on initial development of planted spruce. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 79.5. 41 s.
— 1980. Juurten hienofosfaattikäsittelyn vaikutus männyn ja kuusen istutustaimien alkukehitykseen kivennäismailla. Summary: Effect of milled rock phosphate root coating on the initial development of Scots pine and Norway spruce transplants on mineral soils. Folia Forestalia 445. 25 s.
Ingestad, T. 1962. Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 51.7. 150 s.
— 1977. Nitrogen and plant growth; maximum efficiency of nitrogen fertilizers. Ambio 6: 146–151.
— 1979. Mineral nutrient requirements of Pinus silvestris and Picea abies seedlings. Physiologia Plantarum 45: 373–380.
— & Lund, A.-B. 1986. Theory and techniques for steady-state mineral nutrition and growth of plants. Scandinavian Journal of Forest Research 1: 439–453.
Iverson, R.D. 1984. Planting-stock selection: Meeting biological needs and operational realities. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 261–266.
Jalkanen, A. & Rikala, R. 1995. Foliar chemical composition and sampling intensity in bareroot Pinus sylvestris nursery crops. New Forests 10: 225–237.
Jensén, P. & Petterson, S. 1980. Nutrient uptake in roots of Scots pine. Teoksessa: Petterson, T. (toim.) Structure and function of northern coniferous forests – an ecosystem study. Ecological Bulletins (Stockholm) 32: 29–237.

Jonsson, A., Eriksson, G., Dormling, I. & Ifer, J. 1981. Studies on frost hardiness of Pinus contorta Dougl. seedlings grown in climate chambers. Studia Forestalia Suecica 157. 47 s.

Jopson, T.M. & Paul, J.L. 1985. Influence of fall fertilization and moisture stress on growth and field performance of container-grown Douglas-fir seedlings. Proceedings: Western Forest Nursery Council – Intermountain Nurseryman's Association Combined Meeting August 14–16, 1984 Coeur d'Alene, Idaho. s. 14–19.

Jozefek, H. 1989. The effect of varying levels of potassium on the frost resistance of birch seedlings. Silva Fennica 23: 21–31.

Juntunen, M-L., Hammar, T., Rikala, R. & Kangasjärvi, J. 1996. Ennakkotuloksia paakkutaimituotannon ravinnekuormituksesta. Julkaisussa: Smolander, H. & Salonen, T. (toim.) Metsätaimitarhapäivät Jyväskylässä 13.–14.2.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611: 49–55.

Kauppi, P. 1984. Stress, strain, and injury: Scots pine transplants from lifting to acclimation of the planting site. Tiivistelmä: Metsänviljelytaimien vaurioituminen noston ja istutuksen välillä. Acta Forestalia Fennica 185. 49 s.

Kinnunen, K. Lind, J. & Lähde, E. 1974. Eri ajankohtana istutettujen männyn kennotaimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. Summary: Initial development of Scots pine paper pot seedlings planted on different dates in northern Finland. Folia Forestalia 212. 25 s.

Klein, R.M., Perkins, T.D. & Myers, H.L. 1989. Nutrient status and winter hardiness of red spruce foliage. Canadian Journal of Forest Research 19: 754–758.

Konttinen, K. & Rikala, R. Lyhytpäiväkäsittely ulkomaisten havupuiden taimien karaisussa. Folia Forestalia – Metsätieteen Aikakauskirja 1996: 199–211.

Korpilahti, E., Ilvesniemi, H., Haataja, J. & Huttunen, M. 1995. Metsänviljelytaimien mukautuminen kasvupaikalle; veden, hiilen ja ravinteiden dynamiikkaan pohjautuva tarkastelu. Teoksessa: Niin metsänuudistamistutkimus vastaa. Metsänuudistamistutkimuksen tutkimuskokonaisuuden loppuraportti. Suomen Akatemian julkaisuja 3: 147–163.

Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Summary: On the occurence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. Folia Forestalia 78. 25 s.

Krasowski, M.J., Caputa, A. & Hawkins, C.D.B. 1995. Can foliage water content measurements replace freezer tests in determining a safe lifting time for frozen storage of conifer seedlings. Teoksessa: Landis, T.D. & Dumroese, R.K. (tekn.koord.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-257. s. 261–267.

Kubin, E. 1987. Alustavia tuloksia tuhkalannoituksen vaikutuksesta männyn kennotaimien kehitykseen taimitarhalla ja viljelyn onnistumiseen maastossa. Metsähallituksen taimitarhaväen retkeily 24.–25.9. 1987. Moniste. 19 s.

Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in years 1955–1980. Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki. 182 p.

Landis, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.) Evaluating seedling quality:

principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest research laboratory. Proceedings of the workshop held October 16–18,1984. Oregon State University, Corvallis. s. 29–48. ISBN 0-87437-000-0.
— 1989a. Mineral nutrients and fertilization. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Volume 4. Washington DC: U.S. Department of Acriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674: 1–67.
— 1989b. Irrigation and water management. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Volume 4. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674: 69–118.
— 1990a. Containers: Types and functions. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Volume 2. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674: 1–39.
— 1990b. Growing media. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Volume 2. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674: 41–85.
— , Tinus, R. W., McDonald, S. E. & Barnett, J.P. 1992. Atmospheric environment. The container tree nursery manual. Volume 3. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. 145 s .
— 1996. Secondary nutrients – Calcium. Forest Nursery Notes. USDA, Forest Service. State and Private Forestry. Cooperative Programs. R6-CP-TP-07-96. January: 8–11.
Langlet, O. 1942. Några iakttagelser över vinterfärgningen hos tall, Pinus silvestris L.. Svensk Botanisk Tidskrift 36: 231–241.
Larsen, J.B. 1978. Untersuchungen über die Bedeutung der Kalium- und Stickstoffversorgung für die Austrocknungsresistenz der Douglasie (Pseudotsuga menziesii) im Winter. Flora 167: 197–207.
Lavender, D.P. 1984 Plant physiology and nursery environment: Interactions affecting seedling growth. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis,T.D (toim.) Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague, Boston, Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 133–141.
Lehto, J. & Simolinna, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. Kirjayhtymä. Helsinki. 235 s.
Leikola, M. & Rikala, R. 1974. Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmailla. Summary: The effect of fertilization on the initial development of pine and spruce on mineral soils. Folia Forestalia 201. 19 s.
Levitt, J. 1956. The hardiness of plants. Academic Press. New York. 278 s.
— 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. I. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press. New York. 497 s.
Lilja, A., Lilja, S., Kurkela, T. & Rikala, R. 1997. Nursery practices and management of fungal diseases in forest nurseries in Finland. A Review. Silva Fennica 31: 79–100.
Lindell, M. 1980. Ledningstal och pH – hjälpmedel i plantproduktionen. Skogshögskolan, Garpenberg. Plantnytt 3. 4 s.
Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. Ecological Bulletins 44: 178–190.

— & Flower-Ellis, J. 1992. Environmental and physiological constraints to forest yield. Teoksessa: Teller, A., Mathy, P. and Jeffers J.N.R. (toim.) Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier Applied Science. London and New York. s. 149–164.
Lindström, A. 1986. Outdoor winter storage of container stock on raised pallets – Effects on root zone temperatures and seedling growth. Scandinavian Journal of Forest research 1: 37–47.
Lippu, J. & Puttonen, P. 1989. Effect of soil temperature on gas exchange and morphological structure of shoot and root in 1 yr old Scots pine (Pinus sylvestris L.) seedlings. Annales des Sciences Forestieres 46 suppl. s. 459–463.
— & Puttonen, P. 1991. Soil temperature limitations on gas exchange in 1-year-old Pinus sylvestris (L.) seedlings. Scandinavian Journal of Forest Research 6: 73–78.
Lucas, R.E. & Davies, J.F. 1961. Relationship between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Science 92: 177–182.
Lukkała, O. 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinsuo experimental drainage area. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(6). 53 s.
Luoranen, J, Puttonen, P. & Rikala, R. 1994. Lyhytpäiväkäsittely kuusen paakkutaimien kasvatuksessa. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1994: 51–67.
Lähde, E. 1978. Välivarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen. Summary: Effect of intermediate storage of containerized Scots pine stock on reforestation success. Folia Forestalia 338. 27 s.
— & Savonen, E-M. 1983. Kastelun vaikutus paakkutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa. Summary: Effects of watering on the development of containerised scots pine seedlings and water and air conditions in peat growing mediums. Folia Forestalia 571. 40 s.
Malik, V. & Timmer, V.R. 1995. Interaction of nutrient-loaded black spruce seedlings with neighbouring vegetation in greenhouse environments. Canadian Journal of Forest Research 25: 1017–1023.
Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. 889 s.
— , Kirkby, E. & Cakmak, I. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. Journal of Experimental Botany 47: 1255–1263.
Margolis, H.A. & Waring, R.H. 1986. Carbon and nitrogen allocation patterns of Douglas-fir seedlings fertilized with nitrogen in autumn. I. Overwinter metabolism. Canadian Journal of Forest Research 16: 897–902.
— & Brand, D.G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. Canadian Journal of Forest Research 20: 375–390.
McClure, M.S. 1991. Nitrogen fertilization of hemlock increases susceptibility to hemlock woolly adelgid. Journal of Arboriculture 17: 227–229.
McCormick, L.H. & Steiner, K.C. 1978. Variation in aluminium tolerance among six genera of trees. Forest Science 24: 565–568.
McDonald, S.E. 1984. Irrigation in forest-tree nurseries: Monitoring and effects on seedling growth. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–

Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 107–121.
Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd edition. International Potash Inst., 'Der Bund' AG, Bern. 655 s.
Mikola, P. 1956. Kylvötiheyden vaikutus taimien laatuun taimitarhoissa. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 73: 177–180.
Miller, B.D. & Timmer, V.R. 1994. Steady-state nutrition of Pinus resinosa seedlings: response to nutrient loading, irrigation and hardening regimes. Tree Physiology 14: 1327–1338.
— 1997. Nutrient dynamics and carbon partitioning in nutrient loaded Picea mariana [Mill.] B.S.B. seedlings during hardening. Scandinavian Journal of Forest Research 12: 122–129.
Mullin, R. & Bowdery, L. 1977. Effects of seedbed density and nursery fertilization on survival and growth of white spruce. Forestry Chronicle 53: 83–86.
Munson, A.D. & Timmer, V.R. 1989a. Site-specific growth and nutrition of planted Picea mariana in the Ontario Clay Belt. I. Early performance. Canadian Journal of Forest Research 19: 162–170.
— 1989b. Site-specific growth and nutrition of planted Picea mariana in the Ontario Clay Belt. II. Effects of nitrogen fertilization. Canadian Journal of Forest Research 19: 171–178.
Muzika, R.M. & Pregitzer, K.S. 1992. Effect of nitrogen fertilization on leaf phenolic production of grand fir seedlings. Trees 6: 241–244.
Neckelmann, J. 1986. Dyrkningstæthedens indflydelse på skovplanters kvalitet. Abstract: Bed density and quality of forest plants. Dansk Skovforeningstidskrift 30: 108–117.
Nosko, P. & Kershaw, K.A. 1992. The influence of pH on the toxicity of a low concentration of aluminium to white spruce seedlings. Canadian Journal of Botany 70: 1488–1492.
Nozzolillo, C., Isabelle, P. & Das, G. 1990. Seasonal changes in the phenolic constituents of jack pine seedlings (Pinus banksiana) in relation to the purpling phenomen. Canadian Journal of Botany 68: 2010–2017.
Odlum, K. & Ng, P. 1995. Selecting greenhouse temperatures to control black spruce and jack pine seedling growth. Pocket guide. Ontario Forest Research Institute. 36 s. ISBN 0-7778-4060-X.
Omi, S. K. 1991. The target seedling and how to produce it. Teoksessa: Proceedings: Nursery Management Workshop Alexandria, LA September 10–12, Publication 148 Texas Forest Service A Part of The Texas A&M University System. s. 88–118.
Palomäki, V. 1996. Conifer needle ultrastructure as an indicator of environmental stress factors with special reference to unbalanced nutrition. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 54. 41 s. + liitteet. ISBN 951-781-552-2, ISSN 1235–0486.
— & Holopainen, T. 1995. Effects of nitrogen deficiency and recovery fertilization on ultrastructure, growth and mineral concentrations of Scots pine needles. Canadian Journal of Forest Research 25: 198–207.
Parviainen, J. 1976. Männyn eri taimilajien juuriston alkukehitys. Summary: Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine. Folia Forestalia 268. 21 s.
— 1980. Juurten leikkaaminen männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmänä. Zusammenfassung: Wurzelschnitt als Anzuchtsmethode bei wurzelnackten Kiefernpflanzen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98.2. 131 s.
— & Konttinen, K. 1978. Männyn avomaataimien koulinta-ajankohtakoe. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 25. 11 s.

— & Tervo, L. 1989. A new approach for production of containerised coniferous seedlings using peat sheets coupled with root pruning. Teoksessa: Mason, W.L., Deans, J.L. & Thompson, S. (toim.) Producing Uniform Conifer Planting Stock. Forestry Supplement 62 VN: 87–94.

Pawuk, W.H. 1981. Potting media affect growth and disease development of container-grown southern pines. USDA Forest Service. Southern Forest Experiment Station. Research Note SO-268. 4 s.

Pellett, H.M. & Carter, J.V. 1981. Effect of nutritional factors on cold hardiness of plants. Horticultural Reviews 3: 144–171.

Phillion, B.J. & Bunting, W.R. 1983. Growth of spruce seedlings at various soluble fertilizer salt levels. Tree Planters' Notes 34: 31–33.

Pohtila, E. 1972. Istutuskuoppaan annetun kuparihienofosfaatin vaikutus männyn ja kuusen taimien elossapysymiseen ja pituuskasvuun eräällä kulotetulla ja auratulla uudistusalalla Koillis-Suomessa. Summary: Effect of fine-ground copper rock phosphate placed in the planting hole on the survival and height growth of Scots pine and Norway spruce in a burnt and furrowed reforestation area in north-east Finland. Silva Fennica 6: 14–24.

Proe, M.F. 1994. Plant nutrition. Teoksessa: Aldhous, J. & Mason, W. (toim.) Forest nursery practice. London HMSO. Forestry Commission Bulletin 111: 37–65. ISBN 0 11 710323 3.

Puttonen, P. 1986. Characterization of bareroot planting stock quality using physiological attributes with specific reference to carbohydrate and abscisic acid concentration of needles. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 55. 104 s. + liitteet.

— 1989. Criteria for using seedling performance potential tests. New Forests 3: 67–87.

Puustjärvi, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Summary: The analysis of needles as an exponent for the need of fertilization of Scotch pine. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 82: 26–28.

— 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Turveteollisuusliitto r.y. Julkaisu 1. 172 s.

— 1976. Standard deviations of nutrient contents in peat medium. Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat Research Institute. Peat & Plant Yearbook 1973–75: 26–28.

— 1978. Liming requirement of peat. Peat Research Institute. Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat Research Institute. Peat & Plant Yearbook 1978: 21–30.

— 1979. The salt content of soil solution as a factor affecting plant growth. Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat Research Institute. Peat & Plant Yearbook 1979: 9–15.

— 1983. Peruslannoituksen mielekkyys. Puutarha 3: 138–139.

— 1985. Vesi- ja turveviljelyn ravinnesuhteet. Puutarha 8: 502–504.

— 1987. Puutarhakasvien ravinnetalous. Puutarhaliiton opaskirjoja 33, julkaisu 244. Puutarhaliitto – Trädgårdsförbundet ry. Forssan kirjapaino. 90 s. ISBN 951-95425-8-2, ISSN 0355-080X, 0355-8665.

— 1991. Kasvu ja kasvun hallinta kasvihuoneviljelyssä. Kauppapuutarhaliitto ry. Tuotanto-osaston julkaisuja 10. 287 s. ISBN 0952-9628-00-5.

Racey, J.E. & Racey, G.D. 1988. Undercutting and root wrenching of tree seedlings: An annotated bibliography. Ministry of Natural Resources, Ontario. Forest Research Report 121. 79 s.

Raitio, H. & Rikala R. 1982. Näkökohtia taimien ravinnetaloudesta ja lannoituksesta taimitarhalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 15: 1–28.
—, Rikala, R., Heiskanen, J. Kytö, M. & Poteri, M. 1992. Männyntaimien kasvuhäiriö taimitarhalla. Summary: Growth disturbance of Scots pine seedlings in nurseries. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 445. 36 s.
Rathfon, R.A. & Burger, J.A. 1991. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) nutrient norms for Fraser fir christmas trees. Forest Science 37: 998–1010.
Raulo, J., Lähde, E., Rokkonen, J., Kuismin, R. & Piitulainen, M. 1994. Taimien kasvatus- ja istutuskokeita ja niiden tuloksia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 530. 31 s.
Raynal, D.J., Roman, J.R. & Eichenlaub, W.M. 1982. Response of tree seedlings to acid precipitation I. Effect of substrate acidity on seed germination. Environmental and Experimental Botany 22: 377–383.
Repo, T. & Pelkonen, P. 1986. Temperature step response of dehardening in Pinus sylvestris seedlings. Scandinavian Journal of Forest Research 1: 271–284.
— & Lappi, J. 1989. Estimation of standard error of impedance-estimated frost resistance. Scandinavian Journal of Forest Research 4: 67–74.
Rikala, R. 1978. Maanparannus, lannoitus ja kastelu. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 24. 31 s.
— 1979. Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla. Summary: The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery. Folia Forestalia 394. 15 s.
— 1982. Gödslingens och bevattningens inverkan på tallplantornas kvalitet. Skogplantornas vitalitet och kvalitet. Nordiskt symposium i Hyytiälä 12–13 januari 1982. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 26: 111–122.
— 1986. Lannoituksen vaikutus männyn paakkutaimien kehittymiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 221. 22 s.
— 1996. Puristenesteen johtokyvyn sudenkuopat — turpeen vesipitoisuuden, ravinteiden ja lämpötilan vaikutus puristenesteen johtokykyyn. Julkaisussa: Smolander, H. & Salonen, T. (toim.) Metsätaimitarhapäivät Jyväskylässä 13.–14.2. 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611: 67–74.
— & Jalkanen, A. 1994. Variability of size and foliar nitrogen of containerized Scots pine seedlings. Abstract. Making the Grade. An international symposium on planting stock performance and quality assessment. Sault Ste. Marie, Ontario, Canada. September 11–15, 1994. s. 25.
— & Puttonen, P. 1988. Maan lämpötilan vaikutus kuivuusrasitukseen perustuvassa taimien laatutestissä. Abstract: Effect of soil temperature in a drought exposure based seedling quality test. Silva Fennica 22: 273–281.
— & Repo. T. 1987. Frost resistance and frost damage in Pinus sylvestris seedlings during shoot elongation. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 433–440.
— & Westman C.J. 1979. Markförbättring, gödsling och bevattning i finländska skogsträdsplantskolor. Årskrift for Nordiske Skogplanteskoler 1978: 29–42.
— & Vähänummi, K. 1983. Kasvatusalustan vaikutus yksivuotiaiden kennotaimien kehittymiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 104: 1–20.

Ritchie, G.A. 1984. Assessing seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 243–259.

Romanya, J. & Vallejo, V. 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of Pinus radiata plantations. Forest Science. 42: 192–197

Rook, D.A. 1991. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. Teoksessa: van den Driessche, R. (toim.) Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Boca Raton – Ann Arbor – Boston. s. 85–112. ISBN0-8493-5971-6.

Rose, R., Carlson, W.C. & Morgan, P. 1990. The target seedling concept. Teoksessa: Rose, R., Campbell, S, J. & Landis, T. D. (toim.) Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations August 13–17, 1990 Roseburg, Oregon USDA Forest Service General Technical Report RM-200: 1–8.

— & Haase D.L. 1995. The target seedling concept: Implementing a program. Teoksessa: Landis, T.D. & Cregg, B. (tekn.koord.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Association. Portland, OR, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research station. General Technical Report. PNW-GTR-365: 124–130.

Rosvall-Åhnebrink, G. 1977. Artificiell invintring av skogsplantor i plastväxthus. Abstract: Artificial hardening of spruce and pine seedlings in plastic greenhouses. Experimentell genekologi, Konf, Inst. för skogsgenetik. Skoghögskolan, Rapportter och Uppsatser 27: 153–161.

Rudolph, T.D. 1964. Lammas growth and prolepsis in jack pine in the Lake States. Forest Science. Monograph 6. 70 s.

Rummukainen, U. & Voipio, P. 1981. Ahavan tuhot kuusentaimissa Suonenjoen taimitarhalla keväällä 1978. Summary: Winter wind damage on Norway spruce seedlings at Suonenjoki seedling nursery in spring 1978. Folia Forestalia 469. 15 s.

Ryyppö, A. & Vapaavuori, E. 1995. Ravinteiden saatavuuden ja kuivuuden vaikutus männyn taimien kasvuun, typen allokaatioon ja fotosynteesikoneiston toimintaan. Teoksessa: Niin metsänuudistamistutkimus vastaa. Metsänuudistamistutkimuksen tutkimuskokonaisuuden loppuraportti. Suomen Akatemian julkaisuja 3: 127–146.

Räsänen, P.K. 1966. Metsänviljelyä varten kasvatettujen havupuiden taimien arvosteluperusteista ja luokitusmenetelmistä. Summary: Coniferous seedling raised for forest cultures – the basis for judgement, and methods of grading. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 83: 188–191.

— 1970. Nostoajankohdan, pakkaustavan, varastointiajan pituuden ja kastelun vaikutuksesta männyn taimien kehitykseen. Summary: The effect of lifting date, packing, storing and watering on the field survival and growth of Scots pine seedlings. Acta Forestalia Fennica 112. 27 s.

— 1981. Metsäpuiden taimikasvatus ja metsänviljely. Kehysmalli ja sen käyttö. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 29. 98 s.

Saarela, I. 1982. Tuhka maan parantajana. Pellervo 2: 32–35.

— 1987. Tuhka kalkitus- ja lannoitusaineena. Käytännön Maamies 6: 22–24.

— 1989. Growth of rye grass, barley and oats in soils amended with ashes of wood, bark and coal. Annales Agriculturae Fenniae 28: 121–132.
Sands, R. 1984. Transplanting stress in radiata pine. Australian Forest Research 14: 67–72.
Sandvik, M. 1968. Mineralnaering og gødsling. Teoksessa: Rusten, A. & Landmark, L. (toim.) Produksjon av skogplanter. Det Norske Skogselskap. Oslo. s. 45–72.
— 1978. Gjødslingens innflytelse på plantenes etablering etter utplanting. Årsskrift for Nordiske Skogplanteskoler 1977: 41–56.
Sarjala, T., Taulavuori, K., Savonen, E. & Edfast, A. 1997. Does availability of potassium affect cold hardening of Scots pine through polyamine metabolism? Physiologia Plantarum 99: 56–62.
Savonen, E-M. & Lähde, E. 1984. Paakun taimimäärän vaikutus männyntaimien kehitykseen. Summary: Effects of seedling density on the development of containerised Scots pine seedlings. Folia Forestalia 608. 16 s.
Scarratt, J. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of Jack pine container stock. Great Lakes Forestry Centre. Canadian Forestry Service. Information report O-X-377. 21 s.
Schier, G. 1996. Effect of aluminium on growth of newly germinated and 1-year-old red spruce (Picea rubens) seedlings. Canadian Journal of Forest Research 26: 1781–1787.
Schmidt-Vogt, H. 1966. Wachstum und Qualität von Forstpflanzen. Zweite erweiterte Auflage von "Die Gütebeurteilung von Forstpflanzen". Bayerischer Landwirtschaftsverlag. München, Basel, Wien. 210 s.
Schmidt-Vogt, H. & Gürth, P. 1969. Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg. I Mitteilung: Auspflanzungversuche mit Fichten- und Kiefernpflanzen verscheidener Grössen und Durchmesser. Abschlussbericht. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung 140: 132–142.
Searle, S.R. 1971. Linear models. 532 s. John Wiley & Sons, New York. ISBN 0-471-76950-9.
Selander, J. & Immonen, A. 1992. Effect of fertilization and watering of Scots pine seedlings on the feeding preference on the pine weevil (Hylobius abietis L.). Silva Fennica 26: 75–84.
Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: effects of fertilization, mounding and sowing. Silva Fennica 29: 205–215.
— & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. Folia Forestalia 633. 25 s. ISBN 951-40-0716-6, ISSN 0015-5543.
Simpson, D.G. 1988. Fixing the edsel – Can bareroot stock quality be improved? Teoksessa: Landis, T.D. (tekn.koord.). Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations; 1988, August 8–11. Vernon, British Columbia. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report RM-167: 24–30.
South, D.B. & Mason, W.L. 1993. Influence of differences in planting stock size on early height growth of sitka spruce. Forestry 88: 83–90.
Solantie, R. 1987. Hallojen loppuminen keväällä ja alkaminen syksyllä. Summary: Last spring frosts and first autumn frosts in Finland. Finnish Meteorological Institute. Meteorological publications 6. 60 s.
Sutinen, M-L., Mäkitalo, K. & Sutinen, R. 1996. Freezing dehydration damages roots of containerized Scots pine (Pinus sylvestris) seedlings overwintering under subartic conditions. Canadian Journal of Forest Research 26: 1602–1609.

Sutton, R.F. 1991. Soil properties and root development in forest trees: a review. Forestry Canada. Ontario Region. Great Lakes Forestry Centre. Information Report O-X-413. 42 s. ISBN 0-662-18266-9. ISSN 0832-7122.
Thomas, P. & Wein, R. 1990. Jack pine establishment on ash from wood and organic soil. Canadian Journal of Forest Research 20: 1926–1932.
Thompson, B. 1983. Why fall fertilize? Teoksessa: Proceedings: Western Nursery man's conference. Western Forestry Nursery Council. 10–12, Aug. 1982. Medford, OR: Southern Oregon State College, Ashland. s. 85–91.
— 1985. Seedling morphological evaluation – What you can tell by looking. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.) Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest research laboratory. Proceedings of the workshop held October 16–18,1984. Oregon State University, Corvallis. s. 59–71. ISBN 0-87437-000-0.
Timmer, V.R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. Teoksessa: van den Driessche, R. (toim.) Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Boca Raton – Ann Arbor – Boston. s. 113–134. ISBN 0-8493-5971-6.
— & Aidelbaum, A.S. 1996. Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve outplanting performance on competitive forest sites. NODA/NFP.Sault Ste. Marie, Ontario, Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre. Technical Report TR-25. 21p.
— & Armstrong, G. 1987a. Growth and nutrition of containerized Pinus resinosa at exponentially increasing nutrient additions. Canadian Journal of Forest Research 17: 644–647.
— & Armstrong, G. 1987b. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. Soil Science Society of American Journal 51: 1082–1086.
— & Armstrong, G. 1988. Seedling nutrient status assessment by DRIS and vector diagnosis. Agronomy Abstracts 268: 299.
— & Armstrong, G. 1989. Growth and nutrition of containerized Pinus resinosa seedlings at varying moisture regimes. New Forests 3: 171–180.
— & Miller, B. D. 1991. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients, and water relations of container grown red pine seedlings. New Forests 5: 235–348.
— & Munson, A.D. 1991. Site-specific growth and nutrition of planted Picea mariana in the Ontario Clay Belt. IV. Nitrogen loading response. Canadian Journal of Forest Research 21: 1058–1065.
— & Parton, W.J. 1984. Optimum nutrient levels in a container growing medium determined by a saturated aqueous extract. Commun. in Soil Science and Plant Analysis 15: 607–618.
— & Stone, E.L. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Soil Science Society of American Journal 42: 125–130.
— , Armstrong, G. & Miller, B.D. 1991. Steady-state nutrient pre-conditioning and early outplanting performance of containerized black spruce seedlings. Canadian Journal of Forest Research 21: 585–594.
Tinus, R. & McDonald, S. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. U.S.D.A., Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Exp. Sta., Fort Collins, Colorado. General technical report RM-60. 256 s.
Triebwasser, M.E. & Altsuler, S.L. 1995. Fertilization practices and application procedures at Weyerhauser. Julkaisussa: Landis, T.D. &

Gregg, B. (tekn.koord.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. U.S.D.A., Forest Service, Pacific Northwest Research station. General Technical report PNW-GTR-365: 84–88.
Troeng, E. 1988. Växtnäringsstyrda plantor II. Tillväxt i fält. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion, avdelningen för skogsförnyelse, Garpenberg. Stencil nr 45. 15 s.
— 1989. Gödsling i plantskolan och etablering i fält. Sveriges lantbruksuniversitet, skogvetenskapliga fakulteten. Skogsfakta. Biologi och skogsskötsel 62. 4 s.
— & Ackzell, L. 1988. Growth regulation of Scots pine seedlings with different fertilizer compositions and regimes. New Forests 2: 119–130.
— & Ackzell, L. 1990. Effects of carbon dioxide enrichment on bud formation and growth of coniferous seedlings. Acta Horticulturae 268: 179–189.
van den Driessche, R. 1978. Response of Douglas fir seedlings to nitrate and ammonium nitrogen sources at different levels of pH and iron supply. Plant and Soil 49: 607–623.
— 1980. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on Douglas-fir nursery growth and survival after outplanting. Canadian Journal of Forest Research 10: 65–70.
— 1983. Growth, survival, and physiology of Douglas-fir seedlings following root wrenching and fertilization. Canadian Journal of Forest Research 13: 270–278.
— 1984. Soil Fertility in Forest Nurseries. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 63–74.
— 1985. Late-season fertilization, mineral nutrient reserves, and retranslocation in planted douglas-fir (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) seedlings. Forest Science 31: 485–496.
— 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. Canadian Journal of Forest Research 18: 172–180.
— (toim.). 1991a. Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Press Boca Raton – Ann Arbor – Boston. 274 s. ISBN 0-8493-5971-6.
— 1991b. Effects of nutrients on stock performance in the forest. Teoksessa: van den Driessche, R. (toim.): Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Press Boca Raton – Ann Arbor – Boston. s. 229–261. ISBN 0-8493-5971-6.
— & Dangerfield, J. 1975. Response of Douglas-fir seedlings to nitrate and ammonia nitrogen sources under various environmental conditions. Plant and Soil 42: 685–702.
van der Boon, J. & Niers, H. 1983. Leaching of nutrients from containers with nursery plants. Acta Horticulturae 150: 227–235.
Viljavuustutkimuksen tulkinta metsätaimitarhoilla. 1996. Viljavuuspalvelu Oy. 17 s. ISBN 951-97434-0-5.
Viro, P.J. 1966. Kangasmaan taimiston lannoitus. Summary: Manuring of young plantations. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61.4. 30 s.
Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Selostus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmästä. Agrogeol. Publ. 63: 1–44.

Warkentin, B.P. 1984. Physical properties of forest-nursery soils: Relation to seedling growth. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 53–61.

Weiser, C.J. 1986. Principles of plant freezing resistance and injury. Plant Propagators Society, Combined Proc. 35: 229–236.

Westman, C.J. 1976. Förrådsgödsling av rotade tallplantor med olika kvävegödselmedel. Summary: Fertilization of containerized Scots pine seedlings with different nitrogen fertilizers. Silva Fennica 10: 296–313.

— 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to the amount of organic matter. Acta Forestalia Fennica 184. 34 s.

— & Hänninen, P. 1977. Kemiallinen maa-analyysi paljasjuuristen taimien tuotannossa. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 22.16 s.

Whitcomb, C.E. 1988. Plant production in containers. Lacebark Publications, Stillwater, OK. 631 s. ISBN 0-9613109-1-X.

Willen, P. & Sutton, R. 1980. Evaluation of stock after planting. New Zealand Journal of Forestry Science 10: 297–299.

Williams, B.J., Peterson, J. C. & Utzinger, J. D. 1988. Liming reactions in Sphagnum peat-based growing media. Journal of American Society Horticultural Science 113: 210–214.

Williams, R.D. & Hanks, S.H. 1994. Hardwood nursery quide. Agriculture Handbook No. 473. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 78 s.

Youngberg, C.T. 1984. Soil and tissue analysis: Tools for maintaining soil fertility. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 75–80.

Örlander, G. 1984. Some aspects of water relations in planted seedlings of Pinus sylvestris L. Ph.D. thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Umeå. Sweden. 33 s. ISBN 91-576-2154-3.

Yhteensä 255viitettä

I

Silva Fennica 1990, Vol. 24 N:o 4:323–334

Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings

Risto Rikala & Helen J. Jozefek

TIIVISTELMÄ: DOLOMIITTIKALKIN JA PUUN TUHKAN VAIKUTUS KASVUTURPEESEEN JA TAIMIEN KEHITTYMISEEN

Rikala, R. & Jozefek, H.J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. Tiivistelmä: Dolomiittikalkin ja puun tuhkan vaikutus kasvuturpeeseen ja taimien kehittymiseen. Silva Fennica 24(4):323–334.

Effect of dolomite lime and wood ash (0, 0.5, 1, 2, 4, 8 and 16 kg m $^{-3}$) on the chemical composition of low humified Sphagnum peat was studied. Germination of Scots pine, Norway spruce and silver birch and the subsequent growth of these seedlings were investigated in a greenhouse experiment. Nutrient concentrations in shoots and roots of pine seedlings were also analyzed. The pH of peat increased asymptotically from 3.8 to about 7.0 with increasing lime regimen and to about 8.0 with increasing ash regimen. Wood ash linearly increased electrical conductivity and P, K, and Ca concentrations of peat. Rate of germination, within 7 days, of pine and spruce was best at low pH (<5) while birch seeds had a slightly higher pH optimum (4–6). Germination capacity, within 21 days, was not affected by pH or application regimen of either lime or ash. Pine and spruce seedlings grew best with lime and ash doses of 0.5–2.0 kg m $^{-3}$, the pH of peat being 4–5. Lime and ash treatments did not affect the growth of birch seedlings, but wood ash increased nutrient concentrations of pine seedlings.

Kasvihuonekokeessa tutkittiin dolomiittikalkin ja puuntuhkan (0, 0.5, 1, 2, 4, 8 and 16 kg m $^{-3}$) vaikutusta vaalean rahkaturpeen kemiallisiin ominaisuuksiin sekä männyn, kuusen ja rauduskoivun siementen itämiseen ja taimien kasvuun. Lisäksi määritettiin männyn taimien ravinnepitoisuudet. Kalkkimäärän lisääntyessä rahkaturpeen pH kohosi 3,8:sta asymptoottisesti lähelle pH 7:ää ja puuntuhkalla pH 8:aa. Tuhka nosti voimakkaasti myös turpeen johtolukua ja P-, K- ja Ca-pitoisuuksia. Männyn ja kuusen siementen itämistarmo (7 vrk) oli suurimmillaan kun kasvualustan pH oli alle 5, kun taas koivun siemenet itivät parhaiten pH-alueella 4–6. Itämiskykyyn (21 vrk) ei kasvualustan happamuudella eikä kalkki- ja tuhkakäsittelyillä ollut vaikutusta. Männyn ja kuusen taimet kasvoivat parhaiten 0,5–2,0 kg m $^{-3}$ tuhka- ja kalkkilisäyksillä pH:n ollessa 4–5 kun taas koivun kasvuun niillä ei ollut juuri vaikutusta. Tuhka kohotti selvästi männyntaimien ravinnepitoisuuksia.

Keywords: *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, nutrients, pH, electrical conductivity, dry weight, height, germination, Sphagnum peat.
ODC 232.4 + 237

Authors' addresses: *Rikala*, Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland. *Jozefek*, University of Joensuu, Faculty of Forestry, PO Box 111, SF-80101, Joensuu, Finland.

Accepted November 7, 1990

1. Introduction

Soil acidity has a pronounced effect on soil processes and on plant roots. Direct effects of acidity (pH < 3.0) on plants are the impairment of cell membranes and the outward diffusion of ions, especially K+ ions (Mengel and Kirkby 1982). Many effects of acidity are, however, indirect, for example the occurrence and activity of soil micro-organisms, which in turn affect the nitrification (Evers 1963) and availability (van den Driessche 1978) of NO_3-N and NH_4-N as well as the availability and uptake rate of other plant nutrients (Lucas and Davies 1961).

Hydrogen-saturated organic soil usually has a pH of about 3.0 and calcium-saturated soil has a pH of 7.2–7.8 (Lucas and Davies 1961). The natural pH of low humified Sphagnum peat is 3.5–4.0. The most common way to neutralize acids in peat is by liming. The amount of lime to be applied depends on the required rise in pH and on the present cation exchange capacity, plus the type and decomposition grade of the peat (Puustjärvi 1978, 1987). Furthermore, when lime is applied the neutralizing value of the liming material should be taken into consideration, for example, calcium oxide is twice as powerful a liming material weight for weight as calcium carbonate (Mengel and Kirkby 1982).

Wood ash is alkaline and its neutralizing capacity is comparable to that of calcium oxide (Puustjärvi 1981b). In addition, wood ash contains many nutrients (e.g. Hakkila 1989), and it has been long known that the growth of forest trees on peatlands is increased after fertilization with wood ash (e.g. Lukkala 1951, Silfverberg and Huikari 1985).

There are many opinions as to the importance of soil acidity (pH) in seedling nutrition (e.g. Landis 1989). In general, to produce a good commercial nursery crop, a soil pH value of 5.0–6.0 for conifers and 6.0–7.0 for hardwood species is considered desirable (Tinus and McDonald 1979, Landis 1989). Lower pH values (4.5–5.0) in the growth medium have also been recommended for conifers (e.g. Brix and van den Driessche 1974).

Low humified Sphagnum peat (H 1–3, v. Post) is virtually the only medium used for growing containerized tree seedlings in Finland. In horticulture, at one time the recommendations for addition of lime to peat were 8–10 kg per cubic metre of low humified peat (Puustjärvi 1973); however, this recommended rate was later decreased to 6–8 kg m^{-3} (Puustjärvi 1982). In the beginning of the 1960's when low humified Sphagnum peat was being used as the growing medium for forest tree seedlings, it was recommended that 8.0 kg of dolomite lime be added for every m^3 of peat used (Lehto and Simolinna 1966). In the 1970's peat producers decreased the amount of dolomite lime to 5–6 kg m^{-3} and later decreased it still further to 2–3 kg m^{-3} peat.

In recent years emphasis has been placed on the role and utilization of waste wood-ash in forests (Hakkila and Kalaja 1983, Haveraaen 1986) and also on its use as a fertilizing and neutralizing agent in nursery peat (Rikala 1986). No recommendations for adding wood ash to neutralize acid peat in nursery seedling production have been presented previously in literature. It is only known that an excess of wood ash inhibits germination of tree seeds and causes root deformation in germlings (Heikinheimo 1915).

The aims of this study were 1) to determine the effects of dolomite lime and wood ash on peat substrate, especially their effects on pH and electrical conductivity, and 2) to find the optimum pH for growing pine, spruce and birch seedlings in low humified Sphagnum peat.

This study was part of a research program of the Department of Silviculture in the Finnish Forest Research Institute. We thank Dr Hannu Raitio and Dr Heikki Smolander for comments on the manuscript, Ms Ritva Pitkänen for technical assistance, and Dr Joann von Weissenberg for checking the English language of this paper.

2. Materials and methods

21. Experimentation and growing conditions

The experiments were carried out during March through June for two successive years (1982 and 1983), and were conducted in a controlled greenhouse at Suonenjoki Research Station (62° 40'N, 27° 03'E). Temperature was regulated at 20 °C during the day and 15 °C at night, using an ITU-automatic ventilation system (Itumic Oy, Finland). Actual temperatures and relative air humidity in the greenhouse were measured by a Fuess thermohygrograph. Because of climatic conditions, the greenhouse temperatures could not be held constant, and diurnal temperatures varied from 16 °C to 26 °C. Relative humidity inside the greenhouse also varied, being on average 44% during the day and 74% at night. A 16-hour photoperiod was provided by Osram Power Star HQI-T 400W/DH mercury-halogen lamps, which produced a photon flux density of about 120 $\mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ at seedling level. During the daylight hours, natural light increased the illumination threefold.

The peat substrate used in the experiments was unfertilized and unlimed, low humified, medium-coarse Sphagnum peat (VAPO B0, Finland), degree of decomposition 2–3 (v.Post). The chemical (Kurki 1982) and physical properties (Puustjärvi 1969) of the peat (analyzed by Viljavuuspalvelu Oy, Soil Analysis Service Ltd.) were:

electrical conductivity	1.0	(10xmS/cm)
pH	3.8	
total N	0.84	%
soluble S	9.3	$mg\ l^{-1}$
exangeable Ca	375	$mg\ l^{-1}$
exangeable K	15	$mg\ l^{-1}$
soluble P	7.0	$mg\ l^{-1}$
water soluble B	0.2	$mg\ l^{-1}$
acid soluble Cu	1.2	$mg\ l^{-1}$
acid soluble Fe	0.17	$mg\ l^{-1}$
acid soluble Zn	2.1	$mg\ l^{-1}$

The bulk density of peat was 85 $g\ l^{-1}$, solid density 1.42 $g\ l^{-1}$, total porosity 94%, water capacity 72.5% and air capacity 21.5%.

The acidity levels (treatments) were established by adding various amounts of dolomite lime or wood ash to the substrate before potting. The amounts added were 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, and 16.0 $kg\ m^{-3}$. Lime and ash were mixed into the peat substrate separately for each growing pot.

The dolomite limestone (Paraisten kalkki 2, Finland) used in these experiments contains neutralizing calcium and magnesium calculated as 33%, of which at least 7% is magnesium. More than 98% of the lime powder penetrates a 2 mm ø sieve and more than 50% of the powder penetrates a 0.15 mm ø sieve. The ash used was fly ash from bark and wood residues burned at the Heinola Mills branch of the Enso-Gutzeit company. Total nutrient concentration of the ash was as follows ($g\ kg^{-1}$): Ca 239, K 59.5, P 14.4, S 28.3, Mg 25.6, Cl 19.0, Fe 14.9, Mn 14.1, Na 7.2, and ($mg\ kg^{-1}$): Zn 1230, Cu 839, Cr 820, B 358, Mo 104, Co 47. Macro nutrient content was fairly high compared to the content range in ash residue from bark-fired power plants in Finland (Hakkila 1989). The values of copper and chromium were high, indicating that the burned wood must have contained impregnated wood. The concentration of boron was also rather high.

The growth medium was watered thoroughly at the time of preparation, and one week after watering 25 seeds of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and silver birch (*Betula pendula* Roth.) were sown into 1-litre plastic pots. Seed origins were from Central Finland. Approximately 4 weeks after sowing, the seedlings were thinned to 10 seedlings per pot. In addition, after 2 more weeks birch was thinned again to 5 seedlings per pot. In 1982 seedlings of pine, spruce and birch were replicated in 4 pots/treatment, while in 1983 only pine seedlings were grown. These were replicated in 3 pots/treatment.

In both experiments seedlings were given fertilizer top-dressings of 0.1% nutrient solution (Kekkilä 9 Superex, Finland; N 19%, P 5%, K 20% + micronutrients) at a dosage of 2 $l\ m^{-2}$ twice a week. Total

amounts of top-fertilizer given in 1982 and 1983 were 54 g m^{-2} (10.3 g N m^{-2}) and 76 g m^{-2} (14.4 g N m^{-2}) respectively. The need for watering the pots was determined by weighing them once a week and keeping them at a target weight corresponding to an optimum water content of 45 % (vol.).

22. Measurements

Substrate

In pilot studies the effect of dolomite lime in the soil appeared in one week. At the beginning of the experiments, three samples of substrate mixtures were taken and water was added until a water content of 50% (vol.) was reached. After one week, fresh peat samples were mixed with distilled water (1:2.5), and after a further 24 hours the pH (Schott Geräte CG819-meter) and electrical conductivity (Philips Laboratory Conductivity Meter PW9501) of these suspensions were measured.

At the end of the study period in 1982, peat from the treatment pots was dried in an oven at a constant temperature of 50 °C for 48 hours. Electrical conductivity and pH were measured from a sample suspension in distilled water (1:2.5). Exchangeable calcium, potassium and soluble phosphorus were analyzed from the extract of acidic (pH 4.65) ammonium acetate (Vuorinen and Mäkitie 1955). Soluble nitrogen was determined by distillating the 0.2-N K_2SO_4 extract from the peat sample with NaOH and Dewarda's alloy and subsequently titrating the ammonia released into boric acid. The peat samples were analyzed by Viljavuuspalvelu Oy (Soil Analysis Service Ltd.).

Seedlings

In both years, the number of germinating seeds was counted 7 and 21 days after sowing. After the study periods (17 weeks in 1982 and 14 weeks in 1983) seedlings were gently removed from the peat substrate. Height (mm), root collar diameter (0.01 mm), length of needles/leaves (mm), and length of longest root (cm) were then measured. The number of root tips (1982: $>$ 10 mm, 1983: $>$ 5 mm) was also counted.

Furthermore, in 1983 the total concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, manganese, copper, boron, zinc and iron in both the shoots and roots of pine seedlings were analyzed. These analyses were carried out at the Parkano Research Station of the Finnish Forest Research Institute, using the methods described by Halonen et al. (1983).

23. Statistical analysis

Differences in germination, height, diameter and dry weights of seedlings between liming agents (dolomite lime and wood ash) and application doses were tested by two-way analysis of variance (BMDP). Before the analysis germination data were arcsin transformed. Means were compared for significant differences by Tukey's test. To estimate relationships between application doses and soil reaction, and between pH and total dry weight of seedlings, regression analyses were conducted.

3. Results

31. Effect of lime and wood ash on the chemical composition of peat substrate

One week after the experiment was established, the pH of the peat substrate increased asymptotically from 3.8 to about 7.0 with increasing lime and to about 8.0 with increasing ash (Fig. 1). In 1983 the pH levels were about half a pH-unit lower than in 1982 in both treatment groups. Electrical conductivity (EC) (Fig. 1) showed a slightly concave relationship to ash dosage. For dolomite lime, during both years EC remained fairly constant at all treatment levels. The measurements of pH and EC made at the end of the study period were similar to those presented in Fig. 3, with the exception that the EC of peat in pots containing birch seedlings decreased by about 30 % compared to pine and spruce.

The highest dosages of lime and ash significantly ($p<0.001$) increased the concentration of soluble nitrogen in peat (Fig. 2). Soluble phosphorus and exchangeable potassium remained fairly constant in dolomite lime treatment groups, while the concentrations of these elements increased linearly with increasing ash dosage. In both lime and ash treatments the concentrations of exchangeable calcium increased linearly with increasing treatment level.

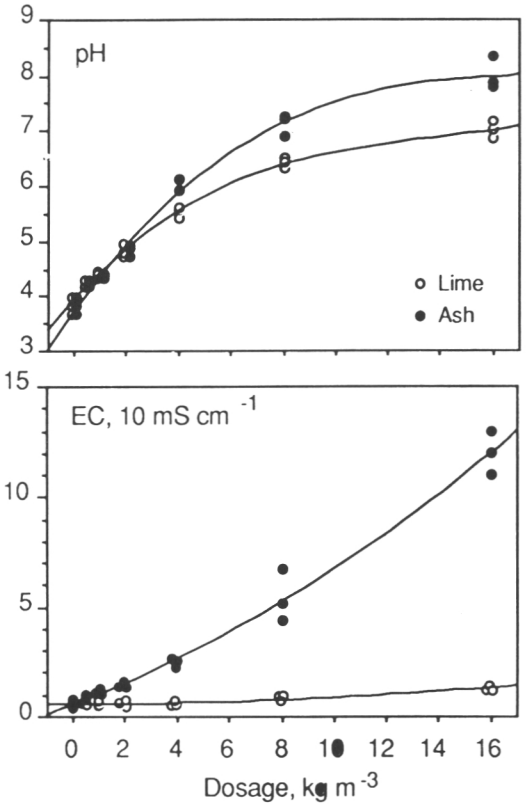


Fig. 1. Acidity (pH) and electrical conductivity (EC) of the peat substrates by application regimen of lime (open dots) and ash (closed dots) one week after mixing in 1982 experiments. One dot is a value of a pooled sample for each tree species.
pH, lime $y=3.949+0.5247x-0.0388x^2+0,00081x^3$; $R^2=0.991$
ash $y=3.735+0.6709x-0.0355x^2+0.00064x^3$; $R^2=0.988$
EC, lime $y=0.5618+0.005060x+0.002757x^2$; $R^2=0.901$
ash $y=0.5697+0.45610x+0.016264x^2$; $R^2=0.983$

32. Germination and growth of seedlings

No significant differences were detected in the capacity or rate of germination between liming agents in any of the tree species studied. Therefore in the figures the values obtained for both ash and lime were combined. The germination capacities (21 days) of pine, spruce and birch seeds were 92 %, 66 % and 79 %, respectively. Furthermore, there were no significant differences between applications (Fig. 3).

The rate of germination (7 days) of pine seeds was highest when the pH was less than 5.0, while for birch the germination rate was highest at pH of 4–6. The application regimen significantly affected the germination rate of pine ($p=0.001$) and birch ($p=0.001$) but not of spruce ($p=0.320$).

During the germination period when the

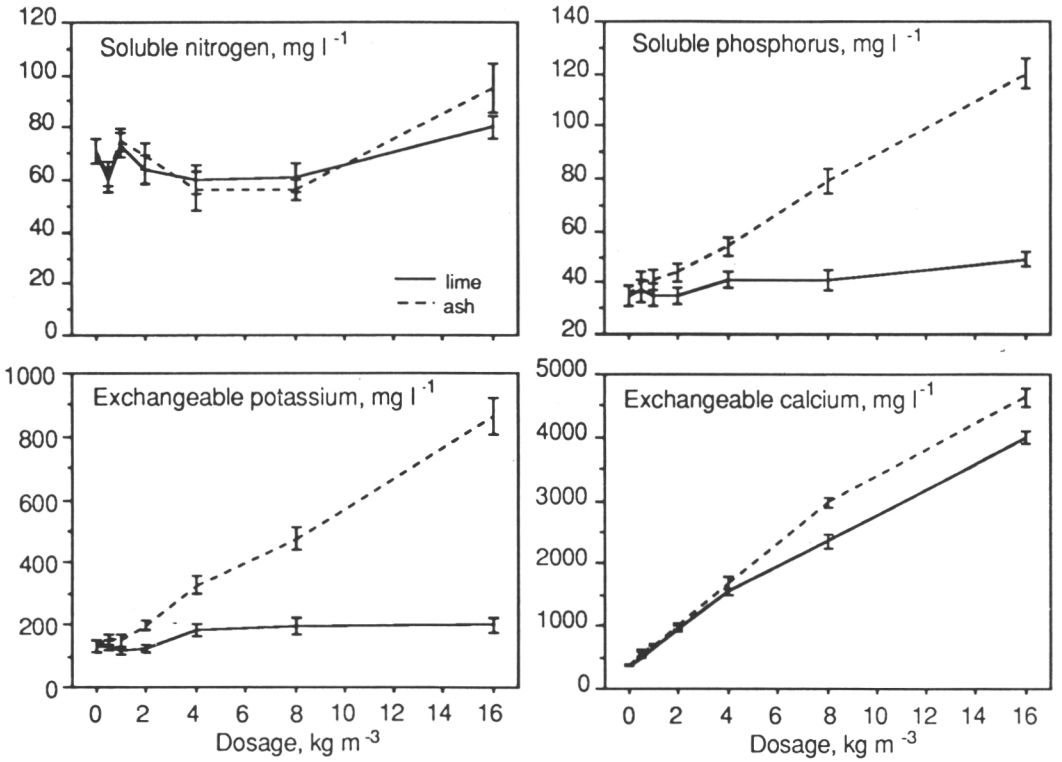


Fig. 2. Concentrations of soluble nitrogen and phosphorus, and exchangeable potassium and calcium in peat of 1982 experiment at the end of the study period. The treatment means ±1SE are calculated from the values of 12 pots.

peat surface was kept moist by frequent watering, mold appeared on the surface of the peat in pots receiving the highest applications (8 and 16 kg m^{-3}) of lime and ash. The mold disappeared after the watering interval was decreased.

Seedling height in lime and ash treatments did not differ significantly for any of the species studied, and therefore the values obtained for ash and lime agents were combined in the figures. Maximum heights for both pine and spruce seedlings were obtained when the pH of the peat was 4–5. This was achieved with small doses (0.5–2.0 kg m^{-3}) of lime and ash (Fig. 4). The height of birch seedlings did not depend on the pH of the substrate.

The application regimen had a significant ($p<0.05$) effect on the seedling diameter of all species studied. The shape of the curve for diameter dependency on substrate pH was similar to that of the height dependency curve. Even the liming agent had a significant, albeit small, effect on seedling diameter. Compared to ash, the application of lime significantly increased the diameter of pine ($p=0.06$) and spruce ($p=0.015$), while lime decreased the diameter of birch ($p=0.01$).

Maximum total dry weights of conifers were obtained at pH of 4–5 (Fig. 5). Dry weight of spruce seedlings was significantly higher ($p=0.001$) in lime than in ash treatments, while liming agent did not significantly ($p=0.074$) affect the dry weight of pine seedlings. Dry weight of birch remained fairly constant over the pH range 3.0–8.0 and the liming agent had no significant ($p= 0.193$) effect.

The root/shoot ratio of dry weight was significantly ($p<0.001$) affected by the liming agent in all tree species studied (Fig. 5). For both liming agents the root/shoot ratio of pine and spruce increased significantly

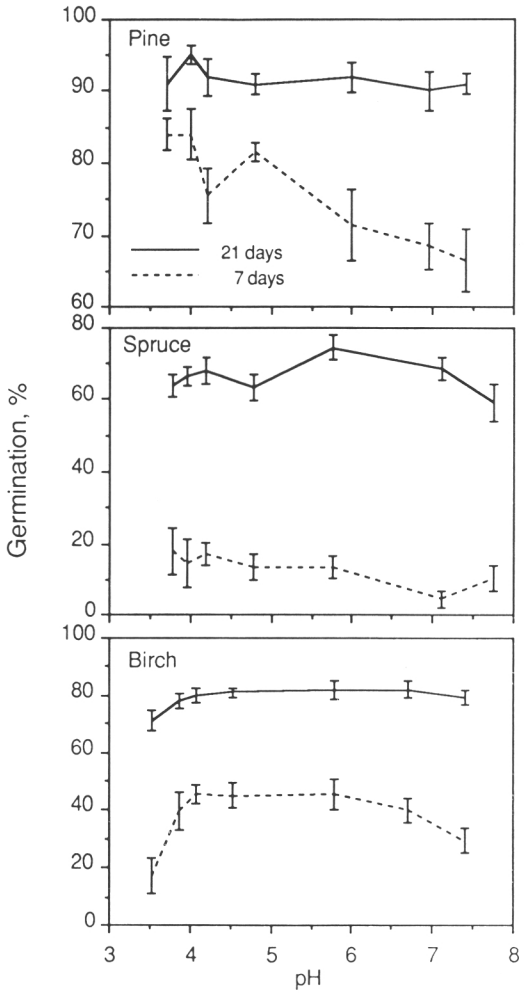


Fig. 3. Germination rate (7 days) and capacity (21 days) of pine, spruce and birch seeds by pH of substrate in 1982 experiment. Lime and ash treatments are combined. The treatment means ±1SE are calculated from the values of 8 pots.

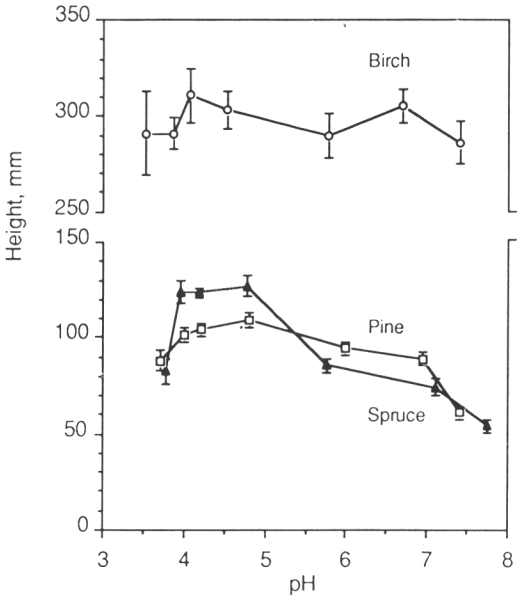


Fig. 4. Height of pine, spruce and birch seedlings by pH of substrate in 1982 experiment at the age of four months. Lime and ash treatments are combined. The treatment means ±1SE are calculated from the values of 8 pots.

($p<0.001$) with increasing application. The root/shoot ratio of birch increased with increasing ash but decreased with increasing lime, indicating an interaction ($p=0.035$) between the liming agent and the application regimen. The number of root tips correlated positively with the root dry weight of both pine ($R^2= 0.60$; $n=52$) and spruce ($R^2=0.63$; $n=52$).

Pine seedlings remained smaller in the 1983 experiment than in the 1982 experiment, which may have been due to the shorter growing period in 1983. The effects of liming agents and application regimen on seedlings, however, were similar to those in the 1982 experiment.

33. Nutrient concentrations of pine seedlings

Nitrogen and phosphorus concentrations in shoots and roots of pine seedlings remained fairly constant over the application range for both lime and ash (Fig. 6). With higher doses of dolomite lime and ash, calcium concentrations increased in shoots and increased more substantially in roots. Potassium concentration in shoots increased linearly as much as threefold over the range of ash applications, while that in roots increased only slightly.

Magnesium concentrations in shoots remained fairly constant over the application range for lime and ash. Only the highest dose of ash increased the magnesium

concentration. With low doses of lime, the concentration of magnesium in roots was lower than in shoots but increased rapidly with increasing doses up to 4–8 kg m^{-3}. Manganese concentration in the shoots increased rapidly and thereafter decreased with increasing doses of ash, reaching a maximum of 2–4 kg m^{-3}. Manganese concentrations in roots increased linearly with ash treatments. Increasing lime doses gradually decreased manganese concentration in shoots but increased it slightly in roots.

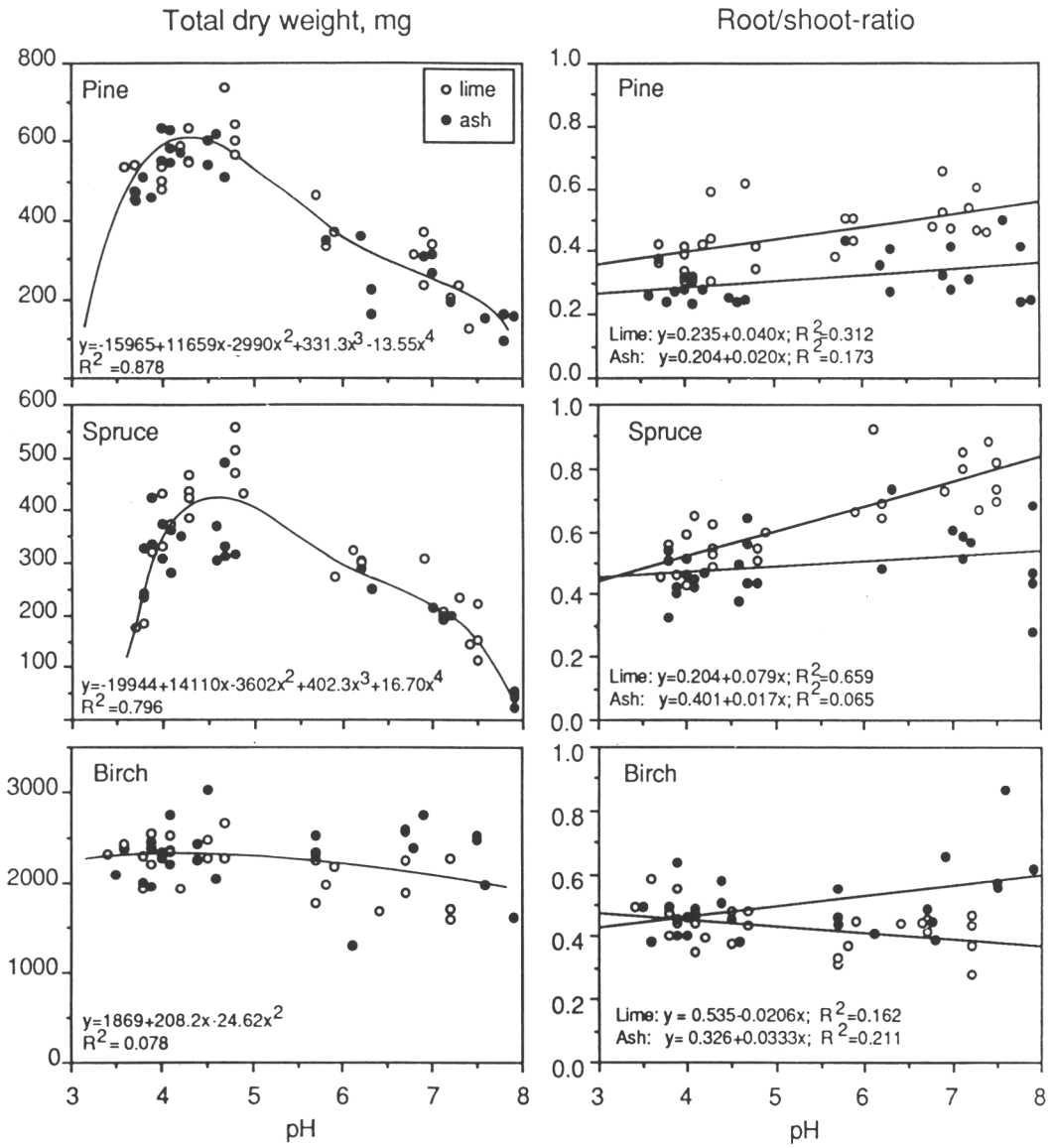


Fig 5. Total dry weight and root/shoot ratio of pine, spruce and birch seedlings by application regimen of lime (open dots) and ash (closed dots) in 1982 experiment at the age of four months. Each dot represents a pooled sample of one pot (10 pine and spruce or 5 birch seedlings in each). Responses of dry weights were smoothed with polynomials of the 4 th degree for pine and spruce and of the 2 nd degree for birch.

With increasing ash dosage, concentration of boron in shoots increased dramatically and thereafter declined, while the concentrations of boron in roots increased more slowly. Increasing doses of lime increased the boron concentration gradually in roots and decreased it in shoots. In general, root concentrations of iron, zinc and copper (Cu not shown) increased rapidly with increasing doses of both ash and lime. In shoots, the concentrations of these nutrients remained fairly constant.

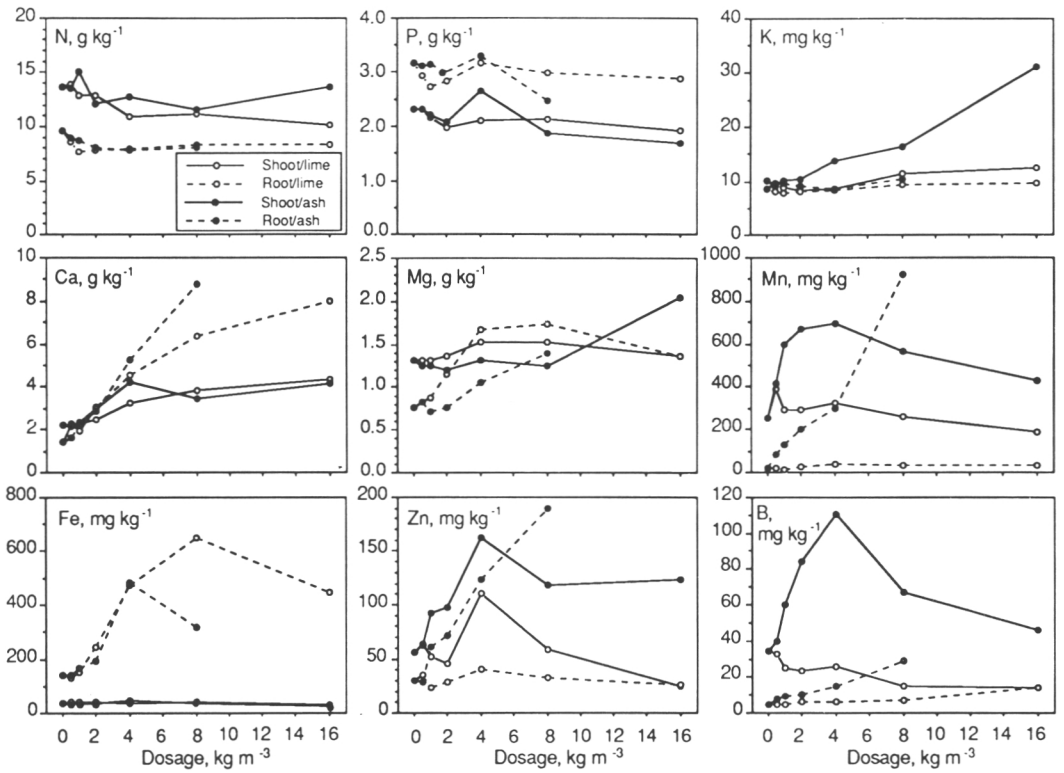


Fig. 6. Nutrient concentrations of shoots and roots of pine seedlings by application regimen of lime and ash in 1983 experiment. One dot represents a pooled sample of 3 pots, each containing 10 seedlings. The root sample of the 16 kg m^{-3} ash treatment was not sufficient for all analyses.

4. Discussion

Dolomite lime increased the pH and EC of Sphagnum peat substrate in much the same way as described by Puustjärvi (1978, 1987). Wood ash had a slightly stronger effect on the pH of the substrate than lime did, which is in accordance with earlier observations (Saarela 1982, 1987). The effect of wood ash may, however, vary considerably depending on the composition of ash, which is known to vary markedly (Hakkila 1989).

Wood ash also produced a strong nutrient effect. It increased the EC, and also concentrations of soluble phosphorus and exchangeable potassium, and calcium in the

peat substrate also increased linearly with rising ash dosage. The concentration of soluble nitrogen was highest with the largest dose of ash or lime, probably due to mineralisation of organic nitrogen at high pH (e.g. Karsisto 1979).

The application regimen of lime or ash did not significantly affect the germination capacity of seeds. Pine seeds, however, germinated most rapidly with no or low doses of lime/ash (pH < 5), while no optimum pH range could be detected for the germination rate of spruce seeds. Raynal et al. (1982) found maximum germination of *Pinus strobus* at pH 2.4–3.0. Similar results have been recorded for *Pinus contorta* and *Pinus banksiana* seeds, while *Picea glauca* and *Picea mariana* had a higher pH optimum (Abouguendia and Redmann 1979). The germination rate of birch seeds in our study was clearly depressed by the low pH of natural peat, a finding which supports the results of Raynal et al. (1982) for *Betula lutea*.

The high EC values in ash treatments did not depress the germination or cause deformations of germlings. This disagrees with the results of Heikinheimo (1915), possibly due to the fact that in this study the substrate was peat, while in Heikinheimo's it was mineral soil.

According to Abouguendia and Redmann (1979), extreme pH has a greater effect on growth than on germination. They found that pine and spruce seedlings grown on filter paper exhibit better early growth at pH 6.5 than at pH 3.0 or 9.0, while the best germination occurred in pH 3.0. In this study the germination rate of pine and spruce correlated with both the height and dry weight of seedlings; maximums were achieved at pH 4.0–5.0.

For dry matter production of birch seedlings no optimum pH range could be found. Total dry weight of seedlings was independent of pH or applied doses of lime and ash. This is similar to the result of Ingestad (1979), who reported that birch seems to be less sensitive to pH than most of the other species studied. He also found that the growth rate of birch was depressed at pH 3.5 or lower, at which point calcium uptake was decreased and observable root damage occurred. Furthermore, in a study by Ericsson and Lindsjö (1981) growth of silver birch was not affected by substrate with a pH of 3.8–6.7.

Wood ash clearly affected the potassium, manganese, zinc, and boron nutrition of pine seedlings. Potassium concentrations of shoots at ash doses of 8 kg m^{-3} and especially at 16 kg m^{-3} were higher than those recommended in the literature (Ingestad 1962, Landis 1989). Boron concentrations in the seedlings reached a maximum value (110 mg kg^{-1})with an ash dosage of 4 kg m^{-3} at a pH of about 6 and thereafter declined with increasing ash dosage, probably due to increasing levels of pH and soil calcium (see Mengel and Kirkby 1982). Symptoms of toxicity do not appear until a boron concentration of 200 mg kg^{-1} in the shoot is reached (unpublished data).

Although the amount of soluble phosphorus in the peat substrate increased with increasing doses of ash, no similar effect was found for the concentration of phosphorus in seedlings. The reason for this could be the ratio of soluble P-containing ions, HPO_4^{2-} /$H_2PO_4^-$, which decreases with increasing pH in the soil solution and it is supposed that only $H_2PO_4^-$ is absorbed actively by plants (Mengel and Kirkby 1982). High concentrations of water soluble salts, especially calcium and magnesium, in soil solution have also been found to decrease phosphorus uptake in plants (Puustjärvi 1981a).

When optimum lime or ash applications are estimated, the health of the seedlings must also be considered. In this study mold formed in the two highest application treatments of both lime and ash, but no damage to seedlings was found. In general, damping-off and root rots are most severe in nursery soils with a pH above 5.5; pH levels above 6.0 have been reported to reduce the development of ectomycorrhizae on conifers significantly (Cordell et al. 1989). On the other hand, it has also been found that too low a pH favours increasing dieback in nursery seedlings (Husted 1988). Low pH has also been found to reduce the number of bacteria present, which in turn would reduce the establishment of *Phytium* along the roots (Elad and Chet 1987). Although no measurements on pathogen attack were recorded in this study results from other

studies suggest that when acidity levels of nursery soils are adjusted potential pathogen damage should be kept in mind.

To conclude, as neutralizing agents for low humified Sphagnum peat, dolomite lime and wood ash produce about the same effect. Chemical analyses of peat and seedlings indicated that wood ash ought to be considered a nutrient source as well. Pine and spruce were more sensitive to pH, especially to high pH, than was birch. Low rates of application of both dolomite lime and wood ash (0.5–2 kg m^{-3}) resulted in an optimum pH of 4–5 for growth of conifers.

References

Abouguendia, Z.H. & Redmann, R.E. 1979. Germination and early seedling growth of our conifers on acidic and alkaline substrates. For. Sci. 25(2):358–360.

Brix, H. & Driessche, R van den. 1974. Mineral nutrition of container grown tree seedlings. In Proc. of North Amer. Containerized Forest Tree Seedlings Symposium. R. W. Tinus, W.I. Stein & W. E. Palmer, eds., Great Plains Agric. Coun. Publ. 68. Denver. p. 77–84.

Cordell, C.E., Kelley, W.D & Smith, R.S. 1989. Integrated nursery pest management. In: Forest nursery pests. U.S. Department of Agriculture. Forest Service Agriculture Handbook No. 680: 5–13.

Driessche, R. van den. 1978. Response of Douglas fir seedlings to nitrate and ammonium nitrogen sources at different levels of pH and iron supply. Plant and Soil 49:607–623.

Elad, Y. & Chet, I. 1987. Possible role of competition for nutrients in biocontrol of Phytium damping-off by bacteria. Phytopathology 77: 190–195.

Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Projekt energiskogsodling (ESO), teknisk rapport 11.

Evers, F.H. 1963. Effect of ammonium and nitrate nitrogen on growth and mineral content of Picea and Populus. I. Growth at different acidity levels and Ca concentration in the nutrient medium. Z.f.Bot. 51:61–79.

Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 568 p. ISBN 3-540-50299-8, ISBN 0-387-50299-8.

— & Kalaja, H. 1983. Puu-ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. Folia Forestalia 552. 37 p.

Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 p.

Haveraaen, O. 1986. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland. Meddelelser fra Norsk institutt for Skogforskning 39(14):251–263.

Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyn vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finlands. Acta Forestalia Fennica 4(2). 260 p.

Husted, L. 1988. Douglas fir dieback. In: Landis,T.D. (tech.coord.) Proceedings, Combined meeting of the Western Forest Nursery Associations; 1988 August 8–11; Vernon, British Columbia. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-167: 161–164.

Ingestad, T. 1979. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. III Influence of pH and temperature of nutrient solutions. Physiologia Plantarum 46(1): 31–35.

Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. II. Effect of ash fertilization. Suo 30(4–5):81–91.

Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in years 1955–1980. Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki. 182 p.

Landis, T.D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. & Barnett, J.P. 1989. Seedling nutrition and irrigation. The Container Tree Nursery Manual. Vol 4. Agriculture Handbook 674. Washington D.C., U.S Department of Agric., Forest Service. p. 1–67.

Lehto, J. & Simolinna, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. Kirjayhtymä. Helsinki. 235 p.

Lucas, R.E. & Davies, J.F. 1961. Relationship between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Science 92:177–182.

Lukkala, O. 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoinsuo experimental drainage area. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(6). 53 p.

Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd edition. International Potash Inst., 'Der Bund' AG, Bern. 655 p.

Puustjärvi, V. 1969. Fixing peat standards. Peat and Plant News 2(1): 3–8.

— 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Turveteollisuusliitto r.y. Julkaisu 1. 172 p.

— 1978.Liming requirement of peat. Peat Research Institute. Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat & Plant Yearbook 1978: 21–30.

— 1981a. Fosforilannoituksen teho turveviljelyssä. Puutarha 9: 454–456.
— 1981b. Kalkitusaineet. Puutarha 10:518–519.
— 1982. Turpeen kalkitus tarkennetun tarkastelun kohteena I. Abstract: Liming of peat. Puutarha 3:136–138.
— 1987. Puutarhakasvien ravinnetalous. Puutarhaliiton opaskirjoja 33, julkaisu 244. Puutarhaliitto – Tärdgårdsförbundet ry. ISBN 951-95425-8-2, ISSN 0355-080X, 0355-8665. 90 p.
Raynal, D.J., Roman, J.R. & Eichenlaub, W.M. 1982. Response of tree seedlings to acid rain precipitation. I. Effect of substrate acidity on seed germination. Environmental and Experimental Botany 22(3):377–383.
Rikala, R. 1986. Lannoituksen vaikutus männyn paakkutaimien kehittymiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 221. 22 s. ISBN 951-40-0887-1, ISSN 0358-4283.
Saarela, I. 1982. Tuhka maanparantajana. Pellervo 1: 32–35.
— 1987. Tuhka kalkitus- ja lannoitusaineena. Käytännön Maamies 6:22–24.
Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands. Folia Forestalia 633. 25 p. ISBN 951-40-0716-6, ISSN 0015-5543.
Tinus, R.& McDonald, S. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. U. S. D. A. Forest Serv. Rocky Mountain Forest and Range Exp. Sta., Fort Collins, Colorado. General technical report RM-60. 256 p.
Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Selostus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmistä. Agrogeol. Publ. 63:1–44.

Total of 35 references

II

Scand. J. For. Res. 10: 161–166, 1995

Variation in the Electrical Conductivity and Acidity of Preculture Peat Growth Media used in Finnish Tree Nurseries

RISTO RIKALA and JUHA HEISKANEN

The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, FIN-77600 Suonenjoki, Finland

Scandinavian Journal of Forest Research

Rikala, R. and Heiskanen, J. (The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, FIN-77600 Suonenjoki, Finland). *Variation in the electrical conductivity and acidity of preculture peat growth media used in Finnish tree nurseries.* Received May 5, 1994. Accepted Nov. 8. 1994. Scand. J. For. Res. 10: 161–166, 1995.

The uniformity of lime and fertilizer incorporated into commercial peat growth media was studied before these media were used for culturing of seedlings. Uniformity was estimated by measuring the acidity (pH) and electrical conductivity (EC) in water suspensions of peat samples (1 : 2.5, v/v) after the samples had soaked for 1 day and 7 days. The mean pH of the fertilized peat media was 4.5–4.8 and 4.6–5.1, and the mean EC was 0.32–0.35 and 0.43–0.49 mS cm^{-1} after 1 and 7 days soaking, respectively. For both pH and EC, significant differences were found between peat media, although the practical importance of these differences was considered to be small. The variation in acidity of peat media within greenhouses was also rather small. The large variation in EC suggests possible heterogeneity in the growth of seedlings grown in these media due to the effects of this variation on availability of water and nutrients. *Key words: fertilization, liming, pH, substrate.*

INTRODUCTION

Uneven distribution of fertilizer incorporated into growth media, particularly when small containers are used, is considered to be one of the major causes of variation in the quality of containerized plants (Whitcomb 1988). Light, low-humified *Sphagnum* peat is the predominant growth medium used in Finland for production of containerized tree seedlings. Natural, light *Sphagnum* peat is acidic originally and is low in soluble mineral nutrients (Puustjärvi 1977). The pH is 3.5–4.0 (Bunt 1988); and when the peat medium contains optimum water content the electrical conductivity (EC) of the pressed water extract is 0.3–0.5 mS cm^{-1} (Puustjärvi 1978, 1979). The optimum pH of *Sphagnum* peat for growth of conifers ranges between 4 and 5 (Rikala & Jozefek 1990). Therefore lime and compound fertilizer are often incorporated into peat products produced for use in tree nurseries.

In Finland, the amount of lime incorporated into peat media produced commercially varies between 2 and 3 kg m^{-3} and the amount of basic fertilizer is between 0.8 and 1.3 kg m^{-3} (Table 1). In Sweden, Norway and Canada, 2–3 kg m^{-3} lime, but usually no fertilizer, is incorporated into the peat media used in tree nurseries (Donald 1991). In the mixing process, however, it is operationally difficult to obtain even distribution of the incorporated particles throughout the medium (Landis 1989, 1990). Incorporation of lime and fertilizer also requires mechanical mixing, which makes the texture of the medium finer and may lead to excess compaction during the growing season (Landis 1990, Heiskanen 1994). Therefore, premixing of lime and fertilizers into growth media is not universally recommended (Landis 1989).

Most of the nutrients in the fertilizers used in peat growth media are in available, soluble form and affect the EC of the media (Puustjärvi 1979). The effect of lime on the EC of peat is small (Puustjärvi 1978, Rikala & Jozefek 1990) and, consequently, the main sources of influence on EC are the incorporated fertilizer and the peat itself (Puustjärvi 1979). Thus, uneven distribution of fertilizer is reflected in the variation in EC. The effect of incorporated lime on peat medium can be determined by measuring the pH, because with amounts of lime from 0 to 6 kg m^{-3} the relationship between the amount of added lime and the pH is almost linear (Puustjärvi 1978, Rikala & Jozefek 1990).

The objective of this study was to determine the mixing of uniformity of lime and fertilizer constituents of commercial peat growth media used for production of containerized tree seedlings. Uniformity was estimated by measuring the acidity (pH) and electrical conductivity (EC) in water suspensions of peat samples prior to their use in culturing.

© 1995 Scandinavian University Press ISSN 0282-7581

Table 1. *Nutrient concentration, textural grade and amount of basic fertilizers and limes in the peat growth media studied.*

	Finnpeat (Kekkilä)	Tree Seedling Peat (Vapo)
Fertilizer	ST-fertilizer level 6 (Kekkilä Corp.)	Special mix for Vapo (Kemira Corp.)
Concentration, % (by mass)	N 15, P 5, K 15, S 2, Mg 1.5, Fe 0.8 B 0.05, Cu 0.2, Mn 0.3, Zn 0.1, Mo 0.03	N 12, P 9, K 18, Mg 1.5, S 2.0, Fe 0.35, B 0.05, Cu 0.33, Mn 0.17, B 0.05, Zn 0.07, Mo 0.02
Grade	90% < 2 mm	98% < 2 mm
Amount, kg m^{-3}	1.0	0.8
Lime	Mg-rich limestone, 2H (Partek Corp.)	Dolomitic limestone 2 (Saxo Corp.)
Concentration % (by mass)	⩾30 neutralizing Ca + Mg of which ⩾7 Mg	⩾30 neutralizing Ca + Mg of which ⩾5 Mg
Grade	98% < 0.15 mm	98% < 0.3 mm
Amount, kg m^{-3}	1.7	2.5

MATERIAL AND METHODS

The peat growth media studied here represented the coarse and medium textural grades of light, low-humified *Sphagnum* peat of two Finnish producers (Vapo and Kekkilä Corporations). These limed and fertilized peat growth media account for the major part of the commercial peat used in Finnish nurseries. The peat grades were specified by the producers to comply with Nordic standards (Puustjärvi 1982). The peat products of the Vapo Corporation were Tree Seedling Peat D1K2 and E1K2, and those of the Kekkilä Corporation were Finnpeat M6 and PP6 for coarse and medium grades, respectively. Prior to use in culturing, the peat samples were collected from newly filled seedling trays at four tree nurseries in the spring of 1990.

Each 3 l peat sample was collected from a separate, randomly selected seedling tray. For each of the four combinations of producer and grade, five groups of five randomly selected samples were collected, each group from a separate, randomly selected greenhouse. The peat samples within greenhouses were assumed to represent the temporal variation in the whole year's production lot within producer and grade. In addition, 10 samples of limed and fertilized compressed sheet peat (Vapo Corporation) produced for the Vapo container growing method and 10 samples of limed but unfertilized chip peat (K01, Hasselfors Corporation, Sweden) were collected randomly from two bales. The textural grade of these media was coarse. The total number of samples studied was thus 120 ($2 \times 2 \times 5 \times 5 + 10 + 10$). The sampling method and physical properties of the peat media studied are described in detail by Heiskanen (1993), and the properties of fertilizers and limes incorporated into the growth media are presented in Table 1.

A subsample of 50 ml from each sample collected was mixed into 125 ml of deionized water. The suspensions were then allowed to soak overnight, after which the first measurements of acidity and electrical conductivity were made (pH1, EC1). Then the suspensions were allowed to soak for six more days, after which the second measurements were made (pH7, EC7). Acidity was measured with a 3020 pH meter (Jenway, England) and electrical conductivity with a CMD 80 conductivity meter (Radiometer, Denmark). In order to compare the values with the Finnish standard (Vuorinen & Mäkitie 1955), the suspension was measured after 1 day. According to our pilot measurements, the effect of lime on pH appeared in a few days (see also Williams et al. 1988). Thus, to indicate the total solubility of fertilizer and lime, which describes better the uniformity of incorporated lime and fertilizer in peat media, the suspension was also measured after 7 days.

To evaluate the differences between the compared group means, one-way analysis of variance and Tukey's test were applied. Group means, standard deviations and coefficients of variation (CV) of the variables were calculated from individual trays ($N = 25$) for each producer and grade combination. For sheet and chip peat media, each sample was used as an independent observation ($N = 10$). The homogeneity of the variances was tested by Levene's test

and the normality of the distributions by Lilliefor's test.

For comparing the uniformity of EC to that of the acidity of peat media by means of the coefficient of variation (CV), the pH values were transformed to hydrogen concentrations [H^+]. In order to compare the EC values measured from the water suspension (1 : 2.5) with the values for the extract from saturated peat medium (Landis 1989), the suspension values were multiplied by 3 according to our empirical data.

Variations in the acidity and EC of peat media were analysed with data for the growth media of two producers and two peat grades, coarse and medium (sheet and chip peat excluded), using a mixed linear model (Searle 1971, Sokal & Rohlf 1981). Acidity and EC were assumed to vary between producers, sieving grades, greenhouses and individual trays. The effect of the producer is due to the different peat bogs used for harvesting as well as to all the handling and storage procedures specific for a given producer. The grade effect is due to textural grades and to the fertilizing method within the peat grades, which in turn are due to sieving of the peat and to the process of fertilizer incorporation. The greenhouse effect is due to spatial differences within peat production fields and to temporal differences in handling of peat during production and filling into seedling trays. This is likely, therefore, to appear as a variation in peat between the different greenhouses in the nurseries. The tray effect includes differences in peat between trays within a given greenhouse. The total variation in an individual tray was thus described using mixed linear Model 1 (Heiskanen 1993).

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + d_{(ij)k} + e_{(ijk)l}, \quad (1)$$

where y_{ijkl} is the value in an individual tray, μ the general mean, α_i the producer effect ($i = 1$, Vapo; 2, Kekkilä), β_j the grade effect ($j = 1$, coarse; 2, medium), γ_{ij} the interaction between producer and grade, $d_{(ij)k}$ the random greenhouse effect within grade and producer,

$$E(d_{(ij)k}) = 0, \quad \text{var}(d_{(ij)k}) = \sigma_d^2,$$

and $e_{(ijk)l}$ is the random residual effect within greenhouse, grade and producer,

$$E(e_{(ijk)l}) = 0, \quad \text{var}(e_{(ijk)l}) = \sigma_e^2, \ \text{cov}(d_{(ij)k}, e_{(ijk)l}) = 0.$$

In order to express the effects on the same scales and in the same units as the means of the variables used, the fixed effects are presented as deviations from the general mean and the random effects as standard deviations.

RESULTS AND DISCUSSION

Acidities after 1 day's (pH1) and 7 day's (pH7) soaking exhibited a linear positive correlation ($r = 0.67$, $p < 0.001$). Differences in acidity between the peat growth media measured after 1 day's soaking (pH1) were small but statistically significant (Table 2). At the second measurement 6 days later, the acidity (pH7) had decreased an average of 0.2 pH units and the differences between peat media still remained small. Variation in acidity within peat media (as measured with CV) was small, being of the same order of magnitude as that found by Puustjärvi (1976*a*, *b*).

According to Puustjärvi (1976*a*), in limed peat the acidity decreases as the particle size of peat decreases, because small particles possess a higher capacity for retention of lime than large particles do. Although the difference in particle-size distribution between the peat media studied here was minute (Heiskanen 1993), pH7 was higher in medium grde peat than in coarse peat. The CV for acidity was larger in coarse peat than in medium grade peat. This may be due to the greater heterogeneity of the peat structure in coarse peat, which may have caused the distribution of the incorporated lime to be less uniform (Puustjärvi 1976*a*).

The effects of producer and grade on the variation in pH1 were small, but their interaction effect was greater, being of the same magnitude as the greenhouse and tray effects (Fig. 1). The effects of producer and grade on the variation were greater in pH7 and their interaction effect was less than in pH1. The greenhouse effect was also greater and the tray effect remained about the same, so that the analysed sources of variation were of almost the same magnitude.

The pH1 value was similar to previous results for peat growth media into which 2–3 kg lime m^{-3} peat had been incorporated (Puustjärvi 1978, Williams et al. 1988, Rikala & Jozefek 1990). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) seedlings have been shown to grow best in light *Sphagnum* peat with a pH of 4–5 (Rikala & Jozefek 1990), whereas the growth response of birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings is not sensitive to acidity within the pH range 4–7 (Ingestad 1979, Ericsson & Lindsjö 1981, Rikala & Jozefek 1990).

Table 2. *Means ($\bar{x}$) and coefficients of variation (CV%) of acidity (pH), hydrogen concentration ([H$^+$]), mol dm^{-3}) and electrical conductivity (EC, mS cm^{-1}) for the water suspensions of different peat media after 1 and 7 days soaking.*

Different letters within columns indicate significant differences ($p < 0.05$, Tukey Studentized range test)

Peat medium	pH1		pH7		[H$^+$]1		[H$^+$]7		EC1		EC7	
	$\bar{x}$	CV%	$\bar{x}$	CV%	$\bar{x}$	CV%	$\bar{x}$	CV%	$\bar{x}$	CV%	$\bar{x}$	CV%
Vapo D	4.8^{a}	3.8	4.9^{a}	5.2	$1.7 \cdot 10^{-5}$	46.7	$1.4 \cdot 10^{-5}$	67.9	0.33^{a}	14.8	0.43^{a}	17.2
Vapo E	4.7^{d}	1.7	5.1^{b}	2.0	$2.1 \cdot 10^{-6}$	17.2	$8.8 \cdot 10^{-6}$	23.6	0.34^{a}	10.7	0.49^{b}	11.6
Kekk. M6	4.5^{c}	3.1	4.6^{c}	2.6	$3.1 \cdot 10^{-5}$	33.5	$2.5 \cdot 10^{-5}$	25.9	0.32^{a}	11.1	0.44^{a}	12.3
Kekk. PP6	4.8^{ab}	2.1	5.0^{ab}	2.0	$1.7 \cdot 10^{-5}$	25.0	$1.1 \cdot 10^{-5}$	22.3	0.35^{a}	12.6	0.45^{ab}	14.1
Vapo-sheet	4.5^{cd}	1.9	4.9^{ab}	3.4	$3.1 \cdot 10^{-5}$	19.5	$1.5 \cdot 10^{-5}$	30.1	0.35^{a}	17.4	0.48^{ab}	16.4
Hasself.-chip	4.5^{cd}	2.0	5.1^{ab}	3.6	$3.0 \cdot 10^{-5}$	21.3	$9.1 \cdot 10^{-6}$	43.6	0.06^{b}	9.5	0.06^{c}	11.8
p	<0.0001		<0.0001						<0.0001		<0.0001	

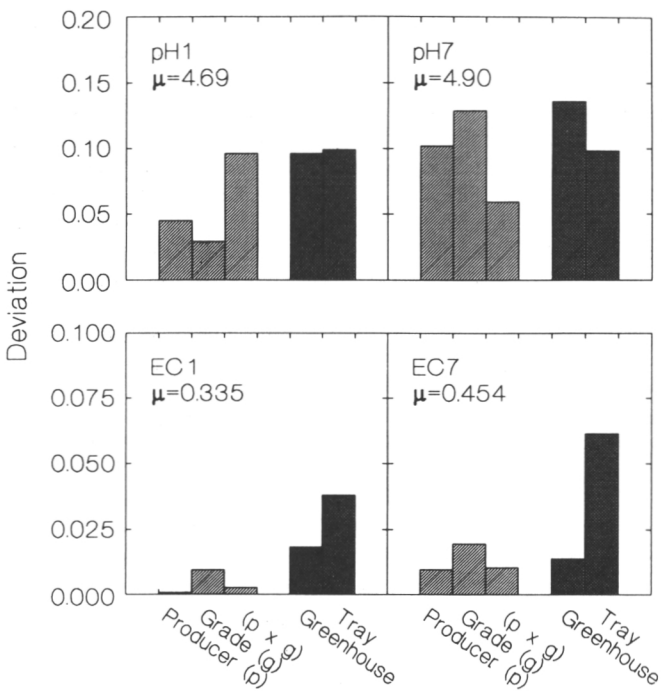


Fig. 1. Means and effects of different sources of variation in acidity (pH) and electrical conductivity (EC) for the compared water suspensions of peat growth media 1 and 7 days after preparation of the suspensions. General means (μ) and fixed effects (producer = α_i, grade = β_j, interaction = γ_{ij}) are given as absolute values for deviations from the general mean and random effects (greenhouse = $d_{(ij)k}$, tray = $e_{(ijk)l}$) as standard deviations (from Model 1).

Because of the small variation in acidity within the optimum pH ranges for forest tree seedlings (e.g. Rikala & Jozefek 1990), at least in the beginning of culturing, the pH of all the peat media studied can be considered to provide rather uniform seedling growth.

The lowest EC was found in the unfertilized chip peat (Table 2). The differences in mean ECs between

the fertilized peat media were small in EC1 but were somewhat higher in EC7. The correlation between EC1 and EC7 was linear ($r = 0.73$, $p < 0.001$). Like pH, EC was also lower in coarse peat than in the medium grades. However, the CV of EC did not depend on the grade of peat, although increasing coarseness of peat previously has been shown to increase the CV of EC in fertilized peat (Puustjärvi 1976*b*).

The CV of EC within peat media was clearly smaller than that of acidity [H^+] and was about half of the values (31–47%) reported by Puustjärvi (1976*a*, *b*) for fertilized peat. The differences in CVs between the acidity [H^+] and the EC found here may be due to original differences in the peat and the different distribution of lime and fertilizer in the media resulting from uneven incorporation of these agents (Landis 1990). Different particle-size distributions of the incorporated agents (Leda & Wright 1991) or differences in retention of lime and fertilizer by the peat particles also may cause differences in CVs.

The pattern of variation for EC differed from that of acidity (Fig. 1). In both EC measurements (EC1, EC7) the largest variation was found between trays. In EC1, although smaller than the tray effect, the greenhouse effect was larger than the other sources of variation. The tray effect on EC was clearly greater than the effect on pH, which may be due to differences in the small-scale distribution of lime and fertilizer particles during mixing or to a difference in sorting of the particles of these agents during transportation or storage of peat bales.

From the standpoint of seedling growth and further fertilization during the growing season, the crucial factor is how uniformly the incorporated fertilizer is distributed within the growth medium. Differences in the means for pH and EC between the peat media and also between greenhouses were fairly small. The mean EC value (0.44 mS cm^{-1}) of media measured from a water suspension corresponds to about 1.3 mS cm^{-1} of medium extract at saturation, thus indicating adequate availability of water and nutrients for sensitive conifer seedlings (Landis 1989).

The largest EC7 range within a greenhouse was 0.35–0.61 mS cm^{-1}, which corresponds to values of about 1.1–1.8 mS cm^{-1} in the saturated peat extract. High EC decreases osmotic potential and water availability from the peat to plants (Puustjärvi 1977). The highest individual EC7 value (0.66 mS cm^{-1}) found here is about the same as 2.0 mS cm^{-1} of peat extract at saturation. These maximum measured values can be considered satisfactory for most plants (Phillion & Bunting 1983, Bunt 1988). In sensitive species, in the extract from a saturated medium, an EC higher than 2.5 mS cm^{-1} in growth media may retard water uptake and cause reduction of growth (Landis 1989). The EC variation within a greenhouse may, however, cause some heterogeneity in the availability of nutrients and in growth of seedlings.

The importance of preculturing measures for EC has been questioned because the EC of preculture peat was found to correlate poorly with the growth of seedlings fertilized during culturing (Folk et al. 1992). Folk and co-workers, however, studied mainly unfertilized and unlimed peat media; thus the EC of saturated medium extract was on average low (0.5 mS cm^{-1}).

In conclusion, both acidity and EC differed significantly between the peat growth media used in nurseries. The practical importance of these differences was, however, considered to be small. Although the variation in acidity expressed as [H^+] was large, the variation in pH within greenhouses, from the standpoint of the seedlings, was small because it varied within the optimum range. Even the highest EC values were not too high for sensitive coniferous seedlings. Variation in EC was smaller than that found in earlier studies; however, due to its effect on nutrient availability it may cause heterogeneity in the growth and quality of seedling stock.

ACKNOWLEDGEMENTS

The manuscript was read by Dr Anneli Jalkanen and the English language was revised by Dr Joann von Weissenberg.

REFERENCES

Bunt, A. C. 1988. Media and Mixes for Container-grown Plants, Second Edition. Unwin Hyman, London, 309 pp. ISBN 0-04-635016-0.

Donald, D. G. M. 1991. Nursery fertilization of conifer planting stock. *In* van den Driessche, R. (ed.). Mineral Nutrition of Conifer Seedlings, pp. 135–168. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, Boston. ISBN 0-8493-5971-6.

Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. The influence of pH on growth and nutrition of some energy forest tree species. Energy Forestry Project. Swedish University of Agricultural Sciences. Technical Report 11, 13 pp. ISBN 91-576-0752-4. (In Swedish with English summary.)

Folk, R.S., Timmer, V. R. & Scarratt, J. B. 1992. Evaluating peat as a growing medium for jack pine seedlings. 1. Conventional quality indices. Can. J. For. Res. 22: 945–949.

Heiskanen, J. 1993. Variation in water retention characteristics of peat growth media used in tree nurseries. Silva Fennica 27: 77–97.

Heiskanen, J. 1994. Mechanical container filling alters texture and water retention of peat growth medis. Hort Technology 4: 286–288.

Ingestad, T. 1979. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. III. Influence of pH and temperature of nutrient solution. Physiol. Plant. 46: 31–35.

Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In* Landis, T. D., Tinus, R. W., MacDonald, S. E. & Barnett, J. P. (eds). The Container Tree Nursery Manual. Volume 4. Agriculture Handbook 674, pp. 1–67. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC.

Landis, T. D. 1990. Growing media. *In* Landis, T. D., Tinus, R. W., MacDonald, S. E. & Barnett, J. P. (eds). The Container Tree Nursery Manual. Volume 2. Agriculture Handbook 674, pp. 41–85. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC.

Leda, C. E. & Wright, R. D. 1991. Dolomitic lime particle size and container medium pH. J. Environ. Hortic. 9: 226–227.

Phillion, B. J. & Bunting, W. R. 1983. Growth of spruce seedlings at various soluble fertilizer salt levels. Tree Planters' Notes 34(4): 31–33.

Puustjärvi, V. 1976*a*. The effect of particle size on the nutrient uniformity of a fertilized peat product. Peat Research Institute, Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat & Plant Yearbook 1973–75: 20–22.

Puustjärvi, V. 1976*b*. Standard deviations of nutrient contents in peat medium. Peat Research Institute, Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat & Plant Yearbook 1973–75: 26–28.

Puustjärvi, V. 1977. Peat and its use in horticulture. Liikekirjapaino Oy. Helsinki. Turveteollisuusliitto r.y. Publication 3: 160 pp. ISBN 951-95397-0-0.

Puustjärvi, V. 1978. Liming requirement of peat. Peat Research Institute, Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat & Plant Yearbook 1978: 21–30.

Puustjärvi, V. 1979. The effect of fertilizers on the electrical conductance of peat extract. Peat Research Institute, Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat & Plant Yearbook 1979: 27–40.

Puustjärvi, V. 1982. Textural classes of horticultural peat. Peat Research Institute, Turveteollisuusliitto r.y. Finland. Peat & Plant Yearbook 1981–1982: 28–32.

Rikala, R. & Jozefek, H. J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. Silva Fennica 24: 323–334.

Searle, S. R. 1971. Linear Models. Wiley, New York, 532 pp. ISBN 0-471-76950-9.

Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. 1981. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. Second Edition, Wilt Freeman and Co, New York, 859 pp. ISBN 0-7167-1254-7.

Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Publ. 63: 1–44.

Williams, B. J., Peterson, J. C. & Utzinger, J. D. 1988. Liming reactions in *Sphagnum* peat-based growing media. J. Am. Soc. Hort. Sci. 113: 210–214.

Whitcomb, C. E. 1988. Plant production in containers. Lacebark Publications, Stillwater, OK, 631 pp. ISBN 0-9613109-1-X.

III

Scand. J. For. Res. 6: 31–39, 1991

Autumn Colouration of First Year *Pinus sylvestris* Seedlings during Frost Hardening

ANNIKA TOIVONEN,[1] RISTO RIKALA,[2] TAPANI REPO[1]
and HEIKKI SMOLANDER[2]

[1]*Faculty of Forestry, University of Joensuu, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, and* [2]*Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland*

Scandinavian Journal of Forest Research

Toivonen, A., Rikala, R., Repo, T. and Smolander, H. (University of Joensuu, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland, Finnish Forest Research Institute, SF-77600 Suonenjoki, Finland). Autumn colouration of first year *Pinus sylvestris* seedlings during frost hardening. Accepted May 2, 1990. Scand. J. For. Res. 6: 31–39, 1990.

Autumn colouration, dry matter content and frost hardiness of *Pinus sylvestris* seedlings were monitored during their first autumn. Seedlings of southern (62° N, 24° E) and northern (67° N, 26° E) Finland origin were grown under two fertilization regimes in Suonenjoki (63° N, 27° E). Northern seedlings turned purple earlier than southern ones, and low fertilized earlier than normal fertilized. Northern seedlings also hardened earlier than southern ones, while fertilization had no effect on hardening. Neither purple autumn colour nor dry matter content was clearly related to frost hardiness of seedlings when treatment means were compared. Comparison of seedlings within treatments suggested, however, that purple seedlings had higher dry matter content than green seedlings at the beginning of hardening period but the relationship between colouring and frost hardiness was not clear. *Key words: anthocyanin, dry matter content, fertilization, frost hardiness, impedance, provenance.*

INTRODUCTION

First year *Pinus sylvestris* seedlings undergo a change in foliar colour during autumn months. The needles and the stems turn purple, and this colouration remains through the winter. The phenomenon is observed especially in nurseries (Kinnunen et al., 1974). Seedlings of northern *Pinus sylvestris* origins become more purple than seedlings of southern ones (Langlet, 1936; Kalela, 1937; Baldwin, 1955). In other pine species, e.g., *Pinus contorta* (Dietrichson, 1970; Jonsson et al., 1979, 1981), *Pinus ponderosa* and *Pinus banksiana* (Stoeckeler & Rudolf, 1956), provenance variation in purple autumn colouration has also been observed.

The pigments causing the purple colouration have been identified as two anthocyanins; cyanidin-3-glucoside and delphinidin-3-glucoside (P. Hynninen, pers. communication). The ecophysiological function of autumn colouring, however, is not clear. The colour changes occur during the period when frost hardening takes place. Thus, the purple colouring has been associated with the increase in frost hardiness of seedlings (Langlet, 1942; Stoeckeler & Rudolf, 1956; Dietrichson, 1970; Kinnunen et al., 1974; Jonsson et al., 1979, 1981). In this study, the autumn colouring of first year Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings was studied with respect to geographical origin, frost hardiness, fertilizer application and dry matter content.

MATERIAL AND METHODS

Material

The plant material consisted of two provenances of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings; southern Finland (62° N, 24° E) and northern Finland (67° N, 26° E). The open

pollinated seeds, collected from natural stands, were sown on May 20, 1985 and grown in solid-wall plastic Enso trays, each with 77 containers (90 cm^3), in a plastic greenhouse without artificial lights or heating in the Suonenjoki nursery (62°39′ N, 27°03′ E, altitude 142 m asl) in Finland. The growing medium used was lowhumified *Sphagnum* peat (VAPO, Tree Seedling Peat, Finland). The peat was premixed with 3 kg of dolomite lime and 1 kg Kekkilä basic fertilizer 4 (Finland; N 12%, P 9%, K 18% and micronutrients) per cubic meter. Seedlings (totaling 32 trays) were thinned to one per container after germination. The final density was 550 seedlings per square meter.

The seedlings from both provenances were randomly divided into two lots, each grown under a different fertilizer regime, which resulted in four origin-fertilization treatments. The two fertilizer regimes were planned such that target electrical conductivities of press water of the growing medium during the growing season were 0.5 mS cm^{-1} and 1.6 mS cm^{-1}, corresponding to low (LF) and normal (NF) Finnish nursery fertilization practice, respectively.

Top-fertilizer applications with 0.16% solution of Kekkilä 9 Superex (N 19.4%, P 5.3%, K 20.0% and micronutrients) were started on June 10, 1985. After mid-July, fertilization was continued with 0.16% solution of Kekkilä 5 Superex (N 10.9%, P 4.0%, K 25.3% and micronutrients). The seedlings in the LF-treatment were fertilized once a week and those in the NF-treatment three times a week. The amount of nitrogen in the basic fertilization was 5.9 g m^{-2}, and in the two top-fertilizer regimes, 3.6 g m^{-2} and 12.4 g m^{-2}. The total weight of the container trays, with substrate and seedlings, was maintained at 4.8 kg, which corresponded to a peat volumetric moisture content of 50%.

The seedlings were moved outside to harden under natural conditions at the beginning of August, and fertilization was discontinued. At this time, the effective temperature sum of the growing period (with threshold value +5°C) was 1 128 d.d., determined by measuring temperature 20 cm above seedlings with a thermograph. The seedlings of each treatment were randomly divided into two lots. Needle colour was monitored in one lot, and destructive determinations (i.e. frost hardiness, nutrient analysis, dry matter content) were made with the other.

Determination of needle colour

Foliage colour of each seedling in all treatments (154 seedlings per treatment) was determined visually once a week by classifying needle colour on a scale from 1 to 5 according to Baldwin (1955) as follows: 1 = needle foliage uniformly green; 2 = needle foliage largely green; 3 = all the needles purple-green, or both green and purple needles; 4 = needle foliage largely purple; 5 = needle foliage uniformly purple. Uniformly purple colour corresponded to colours 5R 3/4 and 5R 3/6 of the Munsell Colour Charts (Munsell ... 1968; cf. Gerhold, 1959; Luukkanen et al., 1971), depending on the fertilization and the provenance. Colour determinations were started on August 15 and finished on September 20.

Frost hardiness

The frost hardiness of the seedlings was assessed with laboratory freezing tests. The first two tests were conducted on July 30 and on August 13, 1985, and from the end of August until October 10, the tests were conducted weekly. Immediately prior to freeze-testing, the foliage colour of each seedling was determined. The greenest (classes 1 and 2) and purplest (classes 4 and 5) seedlings from each treatment were used when possible. For the first tests only green, and for the last tests, only purple seedlings were available, however.

Tests were carried out using the method developed at the Suonenjoki Research Station (Repo & Pelkonen, 1986). Five green and five purple seedlings from each treatment were

used at each of six freezing temperatures. The exposure temperatures were chosen according to the degree of hardiness. Six freezing chambers were cooled to the target temperatures at a rate of 6°C h^{-1}. Target temperatures were maintained for at least three hours, after which the chambers were warmed to room temperature at a rate of 6–8°C h^{-1}. During the freezing treatments, the rootballs were insulated to prevent root damage.

The impedance (f=1 kHz) of the shoots was measured with steel needle electrodes (diameter 0.7 mm) before and after the freezing test. The difference in impedances was normalized with respect to the cross-sectional area of the shoot and the distance between the electrodes, yielding the specific impedance difference (Δz). The temperature response curve of the specific impedance difference for each treatment was used to determine the temperature equivalent to a value of $\Delta z = -10$ Ωm. This temperature, indicated as $LT_{-10\ \Omega m}$, was used as the estimate of the frost damage (Repo & Pelkonen, 1986).

Seedling survival following the freezing test was also estimated visually after the seedlings had grown for about a month in the acrylic greenhouse. Damage to the seedlings was scored in four classes: dead (0), strongly damaged (1), slightly damaged (2) and undamaged (3). The first two classes (0 and 1) were indicated as survival 0, whereas the two latter classes were indicated as survival 100. Accordingly LT_{50} and LT_{10} were obtained by linear interpolation.

Dry matter content

The dry matter content of the apical shoots was determined once a week (August 1 to October 29, 1985) simultaneously with the freezing tests (Ericsson et al., 1983). Approximately 2 cm of the upper part of the apical shoots with needles and buds were sampled by removing them with scissors and enclosing them in air-tight plastic bags. Immediately after all shoots had been sampled, the fresh weights were determined in the laboratory. Shoots were dried at 105°C for 24 hours and weighed after the samples had been cooled to room temperature in an exicator. Dry matter content was calculated as per cent of fresh weight. When possible, these determinations were performed separately on 5 green (classes 1 and 2) and 5 purple (classes 4 and 5) seedlings from each treatment.

Nutrient analysis

The shoots of the 20 purplest and the 20 greenest seedlings from each treatment were pooled for purple and green samples for nutrient analysis on September 23. At that time, only purple seedlings existed among the northern seedlings within the LF-treatment. Total concentrations of N (Kjeldahl-method), P (Horwitz, 1965), K, Ca, Mg and Cu (Analytical methods ... 1971) of shoots were analyzed by Viljavuuspalvelu Co., Soil Testing Laboratory (Helsinki, Finland).

RESULTS

Difference between treatments

The seedling of all treatments started to turn purple in mid-August, with the exception of the southern NF-seedlings, which started to turn colour four weeks later (Fig. 1). Autumn colouring advanced clearly fastest among the northern LF-seedlings. At the end of the study period (September 20, 1985), the northern seedlings were significantly purpler than the southern seedlings at both fertilization levels (χ^2-test, $p<0.001$), and the LF-seedlings were significantly purpler than the NF-seedlings in both provenances (χ^2-test, $p<0.001$).

Seedling origin had a strong effect on the start of frost hardening (Fig. 2). The frost hardiness of both provenances, determined by the impedance method, was about −5°C

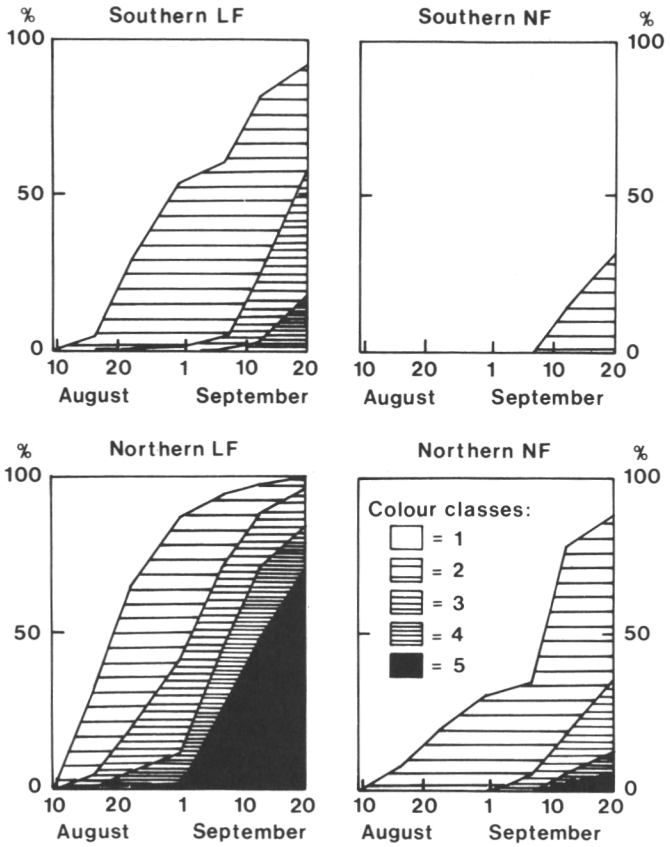


Fig. 1. Percentage of seedlings in different colour classes during the study period. LF refers to the low fertilization treatment, and NF to the normal fertilization treatment.

until the beginning of September. At that time, the frost hardniness of the northern seedlings started to increase, whereas the hardening of the southern seedlings started about ten days later. This time delay was retained during the entire study period. The rate of hardening was about 0.5°C/day in all treatments. At the end of the study period (October 10, 1985), the northern and the southern seedlings were frost hardened to −20°C and −17°C, respectively. No clear differences existed in the frost hardening of the LF- and NF-seedlings from either provenance (Fig. 2).

The close linear relationship between impedance-estimated and survival-estimated frost hardniness was obtained when the data for all freezing tests were combined (Fig. 3).

Frost hardiness was compared with mean foliage colour by treatment (Fig. 4). At the same intensity of purple colour, the NF-seedlings were more frost hardened than LF-seedlings. In all treatments, hardening started later than autumn colouring.

The seedlings in all treatments were in the frost susceptible stage (frost hardiness of about −5°C), when the dry matter content was below 30% (Fig. 5). Frost hardiness increased to −20°C when the dry matter content increased from 30% to 40%. Between these values, the same dry matter content corresponded to different levels of frost hardiness, depending on treatment.

Differences within treatments

Differences in frost hardiness and dry matter content between purple and green seedlings were examined during the study period although only a few tests could be conducted with green and purple seedlings from the same treatment (Fig. 6). Except for the first value, the difference of frost hardiness remained within the limits of measurement error. The dry

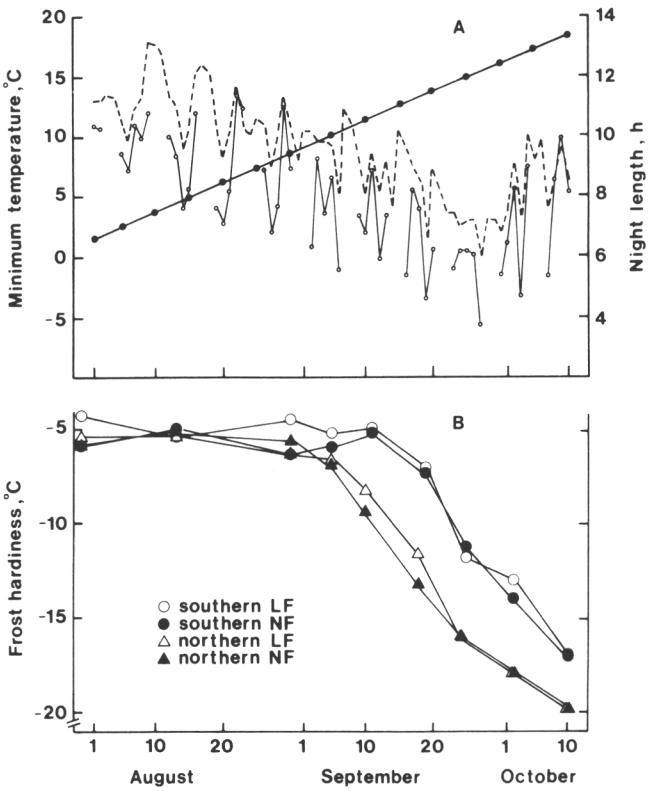


Fig. 2. (A) Daily minimum temperatures at a height of 2 m (dashed line), daily minimum temperatures at ground level Monday through Friday (open circles), and night length (closed circles). (B) Mean frost hardiness of purple and green seedlings within each treatment.

matter content of the purple seedlings was initially higher than that of green seedlings within treatments, but this difference decreased during the study period.

Nitrogen and copper concentrations of the green seedlings were higher than those of the purple seedlings within all treatments at the end of the colour monitoring (Table 1).

DISCUSSION

The geographical origin of the Scots pine seedlings strongly effected foliage colouration; in the photoperiod of Central Finland northern seedlings turned purple earlier and had more

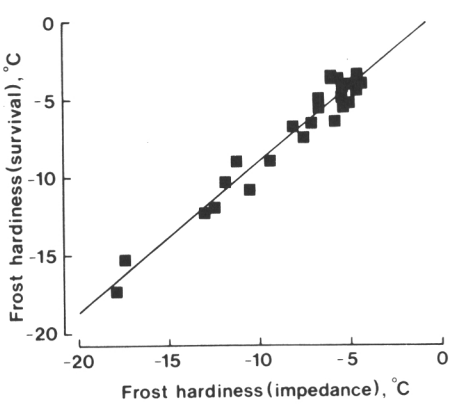


Fig. 3. Relationship between impedance-estimated ($LT_{10\,\Omega m}$) frost hardiness and survival-estimated (LT_{10}) frost hardiness: $y=0.97x+0.82$; $R^2=0.95$. The same regression for LT_{50} was: $y=1.10x+0.19$; $R^2=0.92$.

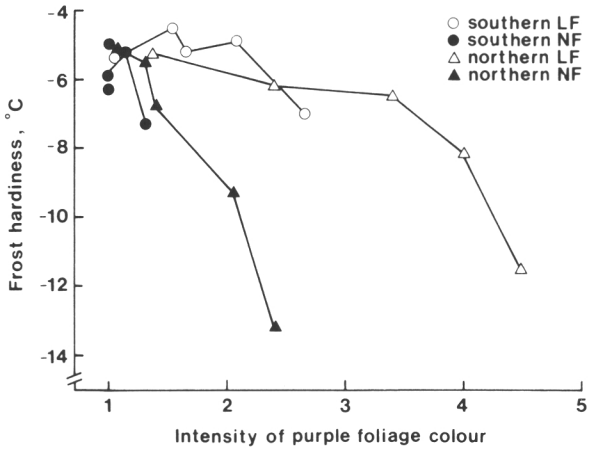


Fig. 4. Frost hardiness as a function of intensity of purple foliage colour. Frost hardiness was measured from one lot and mean foliage colour from another lot within the same treatment. In mean colour intensity for each treatment, number 1 corresponded green seedlings and number 5 purple seedlings.

intensive colour than southern ones. Similar results are reported earlier by Langlet (1936) and Kalela (1937) with Scots pine, by Stoeckeler & Rudolf (1956) with *Pinus banksiana* and by Jonsson et al. (1981) with *Pinus contorta*. Increasing altitude and continentality had a similar effect on colouration as latitude (Langlet, 1936; Kalela, 1937; Jonsson et al., 1981). In this study the colour monitoring discontinued too early to find out if seedlings within all treatments reached the same degree of colouring (see Fig. 1).

The amount of fertilization also clearly effected autumn colouration. Low fertilization, relative to the standard nursery practice, induced earlier and more intensive colouration than the normal applications. The intensive purple colouration of the LF-seedlings may have been due to low nitrogen concentrations of needles. Nitrogen deficiency usually increases anthocyanin concentrations in plants (Harborne, 1980), and the nitrogen concentrations of the LF-seedlings (0.82–1.13% of d.w.) was extremely low (Ingestad, 1962; Aronsson & Elowson, 1980).

Differences in N and Cu concentrations in green and purple shoots might be due to differences in the proportion of carbohydrates (Aronsson & Elowson, 1980) caused by

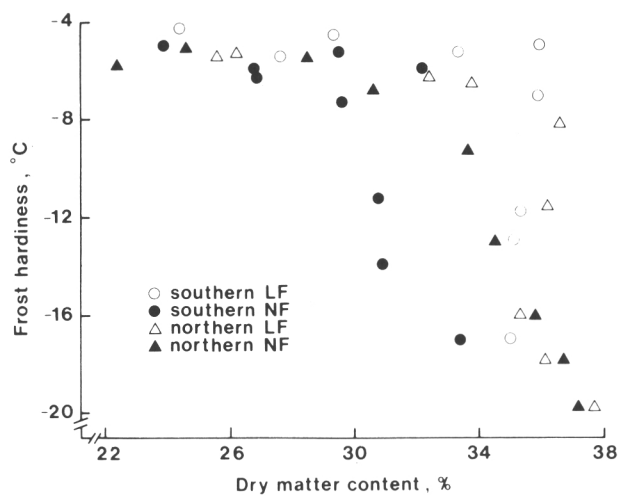


Fig. 5. Frost hardiness as function of dry matter content of seedlings by treatments.

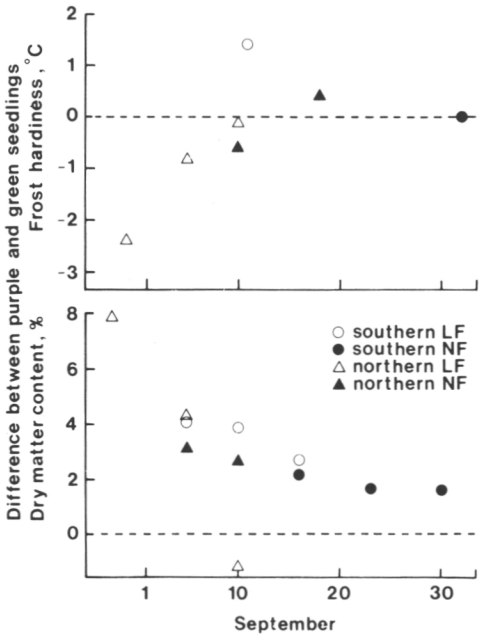


Fig. 6. Time course of difference in frost hardiness and in dry matter content between purple and green seedlings within seedling lot. Each dot comprises difference of means of 5 purple (classes 1 and 2) and 5 green (classes 4 and 5) seedlings.

different hardening rhythm. In that case, however, differences should be similar for other nutrients. Thus it is also possible that differences are due to different nutrient uptake of these seedlings.

The purple autumn colour has been considered an indicator of frost hardening of seedlings in nursery practice. When the intensity of purple foliage colour of different provenances was compared with frost damage, a strong negative correlation was found (Dietrichson, 1970; Jonsson et al., 1981). The fact, that northern seedlings are more purple and more frost hardened than southern seedlings at specific times, was also supported by the results of this study.

The autumn colouration cannot, however, be considered as an indirect measure of frost hardiness (Fig. 4). This unfortunate result from a practical perspective was due to the fact that (i) the timing of colouration and frost hardening was different within treatments, and (ii) the fertilization strongly effected colouration, but not frost hardening. Differential

Table 1. *Nutrient concentrations of green and purple seedlings by treatments*

LF refers to low, and NF to normal fertilization

Origin	Fertil-ization	Colour	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (ppm)
South	LF	Green	1.03	0.17	0.80	0.19	0.13	9.9
		Purple	0.82	0.16	0.78	0.19	0.13	3.7
South	NF	Green	1.94	0.24	1.04	0.21	0.14	6.2
		Purple	1.61	0.21	0.94	0.20	0.13	5.2
North	LF	Green	–	–	–	–	–	–
		Purple	1.13	0.17	0.82	0.20	0.14	3.2
North	NF	Green	2.19	0.23	0.90	0.21	0.13	6.3
		Purple	1.61	0.20	0.92	0.20	0.13	4.5

hardiness of needles and stems were not studied which may change this conclusion. However, no significant differences were found between these plant organs in seedlings of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*), Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) during hardening (Burr et al., 1990).

In addition, no clear relationship between dry matter content and frost hardiness was found. No increase in frost hardiness in any treatment occurred until seedling dry matter content increased to 30% (cf. Rosvall-Åhnebrink, 1977). Subsequently, dry matter content and frost hardiness increased, though very differently in different treatments. The sample for assessment dry matter content constituted both needles and a part of stem. If the dry matter content of these organs change in different order and rate, this may explain the high variability between treatments during hardening (Fig. 5).

No clear difference in frost hardiness between green and purple seedlings were observed within seedling lots during the study period. Initially, however, purple seedlings had a higher dry matter content but this decreased during the hardening process. These differences between green and purple seedlings were small compared to the differences between treatments. This observation should be tested further using more material, because destructive measurements may have reduced the genetic variation of our limited lot.

In this paper, the timing of autumn colouration was described, and the hypothesis that colouration could be used as an indirect measure of frost hardening was falsified. The question of the ecophysiological function of autumn colouration, i.e. accumulation of anthocyanins, remained open. The latitudinal cline in colour intensity (Langlet, 1936) suggested, however, that the process has adaptive value. Since factors triggering the colouration and physiological function of anthocyanins in needles are not known, it is not possible to assess the adaptive value of autumn colour.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to Dr Karen Burr for critical comments and language editing.

REFERENCES

Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. 1971. Perkin-Elmer. Norwalk, Connecticut.

Aronsson, A. & Elowson, S. 1980. Effects of irrigation and fertilization on mineral nutrients in Scots pine needles. In *Structure and function of northern coniferous forest—An ecosystem study* (ed. T. Persson). *Ecol. Bull.* (Stockholm) *32*, 219–228.

Baldwin, H. J. 1955. Winter foliage color of Scotch pine. In *Proceedings of Third North-eastern Forest Tree Improvement Conference*, pp. 23–28.

Burr, K. E., Tinus, W. R., Wallner, S. J. & King, R. M. 1990. Comparison of three cold hardiness tests on conifer seedlings. Tree Physiology 6 (in press).

Dietrichson, J. 1970. Geografisk variasjon hos *Pinus contorta* Dougl. En undersökelse med sikte på treslagets bruk i Norge. Summary: Geographic variation in *Pinus contorta* Dougl. A study aiming the use for species in Norway. *Meddr. norske Skogfors. Ves. 102*, 111–140.

Ericsson, A., Lindgren, A. & Mattson, A. 1983. Effect of cold-storage and planting date on subsequent growth, starch and nitrogen content in Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. *Stud. For. Suec. 165*, 1–17.

Gerhold, H. D. 1959. Seasonal discoloration of Scotch pine in relation to microclimatic factors. *Forest Sci. 5*, 333–343.

Harborne, J. B. 1980. Plant phenolics. In *Secondary plant products. Encyclopedia of Plant Physiol., Vol 8*, (ed. E. A. Bell & B. V. Charlwood) pp. 329–402. Springer-Verlag, Berlin.

Horwitz, W. (ed.) 1965. *Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists*. Washington. 965 pp.

Ingestad, T. 1962. Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions. Meddelanden från Statens Skogforskningsinstitut 51(7). 150 pp.

Jonsson, A., Dormling, I. & Eriksson, G. 1979. Projekt 63400336—Experimentell genekologi, contortatall. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Genetics, Research Notes 28*, 103–109.

Jonsson, A., Eriksson, G., Dormling, I. & Ifer, J. 1981. Studies on frost hardiness of *Pinus contorta* Dougl. seedlings grown in climate chambers. *Stud. For. Suec. 157*, 1–47.

Kalela, A. 1937. Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. *Commun. Inst. For. Fenn. 26*, 1–445.

Kinnunen, K., Lind, J. & Lähde, E. 1974. Eri ajankohtina istutettujen männyn kennotaimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. Summary: Initial development of Scots pine paper pot seedlings planted on different dates in northern Finland. *Folia Forestalia 212*, 1–26.

Langlet, O. 1936. Studier över tallens fysiologiska variabilitet och dess samband med klimatet. Ett bidrag till kännedomen om tallens ekotyper. Zusammenfassung: Studien über die physiologische Variabilität der Kiefer under deren Zusammenhang mit dem Klima. Beiträge zur Kenntnis der Ekotypen von *Pinus silvestris* L. *Medd. Statens Skogsförsöksanstalt 29*, 219–470.

Langlet, O. 1942. Några iaktagelser över vinterfärningen hos tall, *Pinus silvestris* L. Zusammenfassung: Einige Beobachtungen über die Winterfärbung bei der gemeinen Kiefer, *Pinus silvestris* L. *Svensk. Bot. Tidskr. 36*, 231–242.

Luukkanen, O., Räsänen, P. K. & Yli-Vakkuri, P. 1971. Neulasten väri myöhemmän kasvun ja lannoitusvaikutuksen ilmaisijana. Summary: The use of needle colour in predicting growth and response to fertilization. *Silva Fennica 5*, 297–313.

Munsell Color Charts for Plant Tissues. 1968. 3rd ed. Munsell Color Co., Inc. Baltimore, Maryland.

Repo, T. & Pelkonen, P. 1986. Temperature step response of dehardening in Scots pine seedlings. *Scand. J. For. Res. 1*, 271–284.

Rosvall-Åhnebrink, G. 1977. Artificiell invintring av skogsplantor i plastväxthus. Abstract: Artificial hardening of spruce and pine seedlings in plastic greenhouses. Experimentell genekologi, Konf., Inst. för skogsgenetik. *Skoghögskolan, Rapp. och Upps. 27*, 153–161.

Stoeckeler, J. H. & Rudolf, P. O. 1956. Winter coloration and growth of jack pine in the nursery as affected by seed source. *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung 5*, 161–165.

IV

New Forests **00:** 1–12, 1996.
© 1996 *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.*

The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year scots pine seedlings

RISTO RIKALA[1] and TAPANI REPO[2]
[1]*Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, FIN-77600 Suonenjoki, Finland;* [2]*Faculty of Forestry, University of Joensuu, PO Box 111, FIN-80101 Joensuu, Finland*

Received 10 January 1996; accepted in revised form 1 August 1996

Key words: nutrient concentration, frost hardiness, growth cessation, *Pinus sylvestris*, visual damage, nitrogen, phosphorus, potassium

Application. Late summer and autumn frosts occasionally cause severe damage to containerized pine seedling crops in nurseries. The results of this study support the observation that well-nourished seedlings suffer less frost damage than nutrient-deficient seedlings. Although fertilization prolongs the growth period of needles, it does not impair their hardening. Rather, those seedlings with the highest nutrient concentrations have the least needle damage after exposure them to frost during the initial stages of hardening.

Abstract. In this study the effect of summer fertilization on the initiation of frost hardening of containerized second-year Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings is studied. During the second growing season three different fertilization programs (water soluble NPK with micronutrients) determined by electrical conductivity of peat water extract (0.2, 0.5 and 1.2 mS cm^{-1}) were initiated. The growth and nutrient concentrations of needles were monitored during the fertilization period. The frost hardiness of seedlings was assessed on four separate occasions at two week intervals from August 7 to September 18. This assessment was based on artificial freezing tests and visual damage scoring of tissue browning on current-year needles. Clear differences in foliar N, P and K concentrations were observed between the fertilization treatments. Fertilization prolonged the growing period of needles and increased root collar diameter. In all the tests, the highest fertilization level resulted in the highest level of frost hardiness. The difference between the fertilization treatments ranged from 1 °C to 2.2 °C. Frost hardiness increased with an increase in foliar nitrogen concentration and slightly less consistently with increases in foliar phosphorus and potassium concentrations.

Introduction

Late summer and autumn frosts are fairly common in Finland (Solantie 1987). They have occasionally caused severe damage to both one- and two-year-old containerized pine seedling crops in nurseries. Pine seedlings with light green foliage seem to have suffered more frost damage than seedlings with darker green foliage. Nursery fertilization, especially nitrogen application, of seedlings is usually reduced during the hardening period from the middle of July. This suggests that fertilization might have some effect on the observed damage and that by increasing foliar nutrient concentration using nutrient-

loading (Miller and Timmer 1994) the frost hardiness of seedlings could be improved.

It has been shown that nutritional factors affect frost hardiness of plants (e.g. Levitt 1956). However, the results have been somewhat contradictory (Pellet and Carter 1981). Fertilization applied during the growing season may extend the growth period and postpone hardening (Koskela 1970; Gusta et al. 1982; Friedland et al. 1984). On the other hand it has been noticed that high foliar nutrient concentrations, especially nitrogen, improved and low nutrient concentrations impaired the frost hardiness of conifer seedlings (DeHayes et al. 1989; Klein et al. 1989; Troeng and Ackzell 1990). In contrast to these findings, in relation to nutrient status, some results show minor, zero or indeed even negative effects on frost hardiness (Christersson 1975; Hellergren 1981; Edwards 1989; Toivonen et al. 1991; Calme et al. 1993; Hawkins et al. 1995). The influence of nutrient status on the frost hardiness may also depend on the hardening stage of seedlings (Timmis 1974; Hellergren 1981). Accordingly, our knowledge of the quantitative effects of fertilization upon the dynamics of frost hardiness, i.e. the rate and the amplitude of the hardening and dehardening response, is inadequate to control frost hardiness in nurseries.

In this study we examine the effect of fertilization on the frost hardiness of two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in the nursery. We hypothesize that pine seedlings with low foliar nutrient concentrations are more susceptible to damage from night frosts in late summer or early autumn than seedlings with higher foliar nutrient concentrations.

Material and methods

Culture and monitoring of seedlings

The two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings were grown in Suonenjoki nursery (62°39′ N, 27°03′ E, altitude 142 m asl), Finland. The seeds (seed orchard Herrasenaho, M29-80-1946), were sown on May 29, 1989, in PS608 paperpots (cell volume 152 cm^3, 104 cells per tray, 433 cells m^{-2}) in a greenhouse, where seedlings were grown until moved to an open field on July 27, 1989. They overwintered under snow cover and grew during the second season in the open field.

The paperpot trays were filled with light sphagnum peat (Vapo Tree seedling peat, Vapo Corp., Finland). The peat was premixed with 3 kg of dolomite and 0.8 kg of base fertilizer (N 12.0%, P 9.0%, K 18.0% and micronutrients). During the first growing season (1989) all seedlings received 0.1% of the fertilizer solution (Superex, Kekkilä Co., Finland) six times, and in May and June of the second growing season before the start of the experi-

Table 1. The total amount of nitrogen, phosphorus and potassium incorporated into the base fertilization and top-dressed liquid fertilization during the first season (one level) and as top-dressed fertilization during the second season (three levels). Values in brackets refer to the nutrient amounts per seedling.

Fertilization	N	P	K
	$g\ m^{-2}$ ($mg\ seedling^{-1}$)		
	1st year		
Base fertilization	6.0 (14)	4.7 (11)	9.5 (21)
Top-dressing	3.0 (7)	2.5 (5)	6.5 (15)
	2nd year		
Before 10 July:	10.2 (24)	2.9 (7)	11.3 (26)
After 10 July:			
Level 1	3.4 (8)	1.3 (3)	16.6 (38)
Level 2	15.0 (34)	5.5 (13)	34.7 (80)
Level 3	30.0 (70)	11.0 (25)	69.6 (161)

ment, these seedlings received a further six applications of the same fertilizer solution (Table 1).

In the beginning of July in the second growing season (1990) 18 trays with uniformly grown seedlings were chosen for the experiment. Trays were randomly allocated to three fertilization treatments in three blocks, two trays per treatment in a block (a total of 624 cells per treatment). Three different fertilization programs were started on July 9 by top-watering each tray on each treatment once with 5 liters of various concentrations (0.05%, 0.1% and 0.2%) of Superex 5-fertilizer (N 10.9%, P 4.0%, K 25.3% + micronutrients) solution. These concentrations represent fertilizer treatments 1, 2 and 3 respectively.

The target levels for electrical conductivities (EC) of peat water were 0.2, 0.5 and 1.2 mS cm^{-1}. Extracts for the EC monitoring were obtained through mechanical squeezing from peat at a water content of 45% (V V^{-1}). One cell from each tray (6 cells per treatment) was randomly sampled once a week from July 11 to September 18. Press water of peat was extracted and the conductivity and the pH of the sample was measured. The target levels of the EC were reached within three weeks after commencement of the different fertilization regimes. To maintain the indicated EC values three fertilization solutions were applied twice a week (two liters, i.e. 8 mm per tray) until September 4. At that time, the total amount of nitrogen, phosphorus and potassium applied clearly differed between fertilization treatments (Table 1). The water content in the peat was kept between 35–45%, V V^{-1} by weighing and irrigating the seedling trays to meet the target mass once a

week. Occasionally the moisture of the peat was raised to 70% by natural rain. The average of the peat water content was 43% (V V^{-1}).

The pH of press water extract varied between 4.5–5.1. These pH levels were lowest in treatment 1 and highest in treatment 3. In addition, from pooled press water samples the concentrations of NH4 and NO3 were determined with a Tecator 5020 FIA-analyzer and the concentrations of P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn and B were determined using a plasma emission spectrophotometric analysis (ICP, ARL 3800). Nutrient concentrations in press water extract during the differentiated fertilization period were, on average, 10, 16 and 36 mg l^{-1} for nitrogen (NH_4 + NO_3), 19, 35 and 71 mg l^{-1} for phosphorus and 84, 144 and 266 mg l^{-1} for potassium for fertilization treatments 1, 2 and 3 respectively. The concentrations of other soluble nutrients were, on average, Ca 14, Mg 6.7, Mn 0.19, B 0.16, Cu 0.25 and Zn 1.02 mg l^{-1}.

Current-year needles from the seedlings used for extracting press water were pooled by treatment for nutrient analysis. Concentrations of N were determined with a LECO CHN-600 analyzer (Leco Co, USA), and P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn from dry-digested 2 M HCL samples (Halonen et al. 1983) using a plasma emission spectrophotometric analysis (ICP, ARL 3800). For testing differences in foliar nutrient concentrations among treatments at the end of the growth period, the three sampling dates in September were used as replicates.

For measuring the growth of shoots and needles five seedlings from each tray were randomly chosen. These sample seedlings were repeatedly monitored once a week from July 11 until the end of August, when the elongation of needles ceased. The root collar diameter was measured using seedlings taken for freezing tests.

The daily temperatures during the experimental period were monitored in a weather cabin by a thermograph and a minimum thermometer situated 5 cm above ground level. The temperature sum in degree days (d.d.) was calculated with a +5 °C threshold value. The first night frost (−0.3 °C) occurred on September 3 and next frosts (−1 to −4 °C) on the latter half of September. Temperature sum increased from 416 d.d. to 1099 d.d. from the beginning of July to the end of September. During the same time the day length shortened from 20 h to 11 h 30 min.

Determination of frost hardiness

The frost hardiness of the seedlings was tested at four different times during the late summer after the budset. At each time, seedlings were exposed in air-cooled chambers to six freezing temperatures chosen according to the expected level of frost hardiness as follows: i) on August 7, from 0 to −8.5 °C, ii) on August 21, from −3.5 to −6.0 °C, iii) on September 4, from −5.5 to

−8.5 °C, and iv) on September 18, from −6.2 to −20.0 °C. In every test, 12 seedlings per fertilization treatment (two seedlings from each tray) were sampled for each test temperature. The rootballs of the seedlings were placed in plastic bags and the seedlings were inserted into an open-top plastic box (height 10 cm). The rate of cooling and warming of the chambers was 5 and 8 °C h^{-1}, respectively, and the duration of the minimum temperature was approximately 3 hours. Temperatures in the chambers were recorded with thermocouples placed in the air at shoot level.

After thawing the seedlings were planted into a mixture of unfertilized, light sphagnum peat and sand (1:1) in a greenhouse (22/15 °C (day/night); natural photoperiod extended to 18-h with metal halide lamps providing 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$). After three weeks the percentage of tissue browning was visually scored on current-year needles of each seedling at 10 % intervals.

Frost damage was modelled by a logistic sigmoid function (Eqn. 1) (Zhu and Liu 1987; Repo and Lappi 1989)

$$y = 1/[1 + e^{B(C-x)}] \quad (1)$$

where y is the proportion of brown needles per seedling, x is the treatment temperature and B is the slope of the function at the inflection point C. The parameter C corresponds to the temperature with 50% browning (LT_{50}). The fitting of the model and the statistical tests in frost hardiness between treatments were carried out using nonlinear regression of SHAZAM software (v.6.1) (White et al. 1988). The significance of the difference in the estimated C-parameter of the function was calculated with Wald asymptotic χ^2-statistics.

Data analysis

Analysis of variance followed by Tukey's pairwise mean comparison test was used to test differences in the morphology and the foliar nutrient concentrations between treatment means.

Results

Seedling morphology and foliar nutrient concentrations

After the second growing season the mean height of the seedlings was 22.7 ± 2.7 cm (±SD), and there were no significant differences in height between fertilization treatments (p=0.402). The root collar diameter of the seedlings (2.99 ± 0.14 mm, 3.20 ±0.18 mm and 3.47 ± 0.22 mm for treatments 1, 2

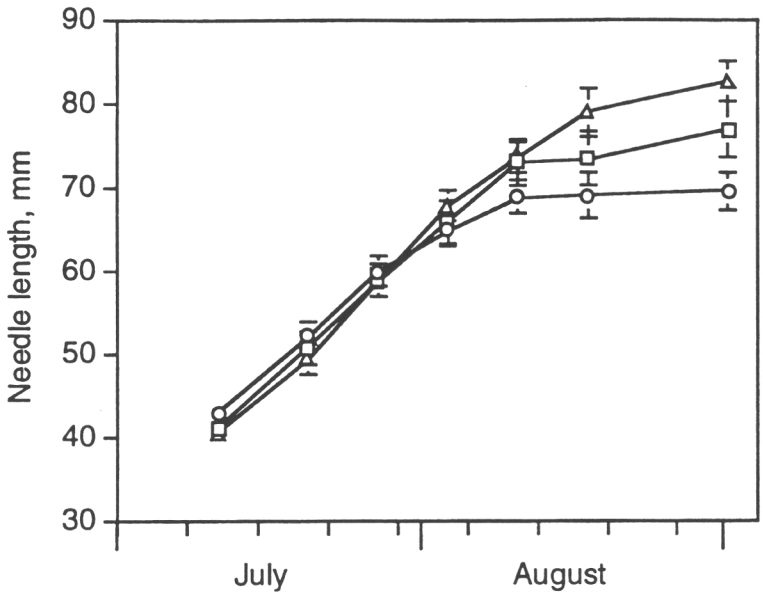


Figure 1. Needle elongation by the fertilization treatments during the second growing season. Vertical bars indicate standard errors (n = 6). Fertilization treatments: 1 (lowest) – ○, 2 (medium) – □ and 3 (highest) – △.

and 3, respectively) differed significantly between all the treatments at the end of the growing season (Tukey's test, $p < 0.001$).

Needle length differences between treatments developed in August with the needles in the more fertilized seedlings becoming longer than in the less fertilized seedlings (Figure 1). At the end of growing season the differences in needle length between the lowest and the highest fertilizations were significant (Tukey's test, $p = 0.018$).

Foliar N, P and K concentrations decreased during the fertilization period except for the highest application rate. At the end of the growing season there were significant differences in foliar N concentrations between all the treatments (Table 2). Foliar P and K concentrations in the lowest fertilization treatment differed from the other two treatments. Foliar Cu concentration was significantly lower in the lowest fertilization treatment when compared to the highest fertilization treatment, while no other significant differences were found in the other micronutrients. Although no quantitative measurements were taken, the darkness of the green colour in the needles increased with increased fertilization.

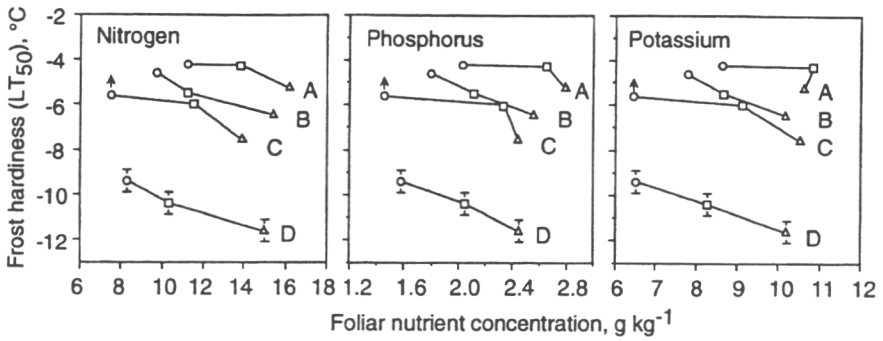


Figure 2. The relationship between the frost hardiness (LT_{50}) of needles and foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations by assessment dates: A = August 7, B = August 21, C = September 4, D = September 18. Fertilization treatments: 1 (lowest) – ○, 2 (medium) – □ and 3 (highest) – △. The bars indicate the estimated standard errors of LT_{50}, i.e. parameter C in Eqn. 1. Most of the standard error bars proved to be smaller than the size of the symbol used to indicate LT_{50}. By date C, the standard error bars could not be calculated for LT_{50} due to the insufficient coverage of the data. The arrow indicates that the LT_{50} value was above the highest frost exposure temperature (−5.5 °C).

Table 2. Nutrient concentrations in pine needles by fertilization treatments after the second growing season. For testing differences, the three sampling dates in September (4, 11 and 19) were used as replicates.

Fert.	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Zn
treat.			g kg^{-1}				mg kg^{-1}	
1	8.0a	1.6a	6.8a	1.9a	1.0a	338a	2.3a	37a
2	10.9b	2.1b	8.8b	1.8a	1.0a	361a	3.5ab	39a
3	14.3c	2.5b	10.0b	1.7a	1.0a	379a	4.3b	49a
p	<0.001	0.001	0.010	0.557	0.559	0.436	0.049	0.116

Values followed by same letter are not significantly different by Tukey-test ($P \leq 0.05$).

Frost hardiness

In all the tests, the highest fertilization level lead to the highest level of frost hardiness. By Wald χ^2-statistics the differences between fertilization treatments were significant ($p < 0.01$), except on September 4 when the insufficient coverage of the data over the critical temperature range did not allow for comparison. The difference between the fertilization treatments ranged from 1 °C on August 8 to 2.2 °C in September 18. The frost hardiness slightly increased in all the treatments from August 7 to 21 but hardening clearly increased between the two last test dates in September, probably due to cold nights in the middle of September. In all the tests, the frost hardiness

of seedlings increased with increasing foliar nitrogen concentration (Figure 2). This relationship was similar, but not as consistent, with the phosphorus and potassium concentrations.

The response function (Eqn. 1) used for modelling frost damage became more flattened with an increase in hardiness. With hardening, the magnitude of the slope parameter B decreased in all treatments. In the first test it was 10, 7.5 and 1.6 $°C^{-1}$ for fertilization treatments 1, 2 and 3 respectively and in the last test approximately 0.4 $°C^{-1}$ for all treatments.

Discussion

Enhanced fertilization prolonged the growth period of pine needles and increased their foliar N, P and K concentrations, as in a previous study with second-year Scots pine seedlings (Rikala and Huurinainen 1990). In spite of fertilization, foliar nutrient concentrations clearly decreased in the two lower fertilization treatments in August. This is probably due to nutrient retranslocation to the roots, because needle elongation had ended in August and September but the roots were still growing (Rikala and Huurinainen 1990). The foliar N concentration was clearly lower than recommended for conifer seedlings in nurseries in the two least fertilized treatments (e.g. Ingestad 1979; Landis 1989). Conversely, the P/N-ratio (0.18–0.20) and the K/N-ratio (0.74–0.80) was, in every treatment, higher than recommended by Ingestad (1979) (0.14 and 0.45 for P/N and K/N respectively).

Although high fertilization delayed the growth cessation of needles, their frost hardiness was improved at the end of the growing season and in the initial stages of frost hardening. This is slightly surprising since, in general, early growth cessation has been connected with an early initiation of frost hardening (Weiser 1986). The cessation of shoot growth and bud formation is a signal of an onset of dormancy and are considered as prerequisites for hardening (Glerum 1985). However, the results for Larix leptolepis (Sieb & Zucc.) Gord. (Hansen 1992) and Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco (Hawkins et al. 1995) showed that prolonged fertilization delays height growth cessation without any effect on frost hardiness of seedlings. In our study the cessation of shoot growth occurred approximately at the time when the different fertilization treatments began. At that time the temperature sum was 507 d.d. coinciding with results of Raulo and Leikola (1974) for termination of height growth of Scots pine. Thus, it was not possible to recognize if the fertilization treatments would have prolonged shoot elongation and if this had some effect on the initiation of frost hardening. However, we may assume that the prolonged needle elongation was not too extensive, in that the limit for an initiation of a proper frost hardening would have been exceeded.

The difference in frost hardening of the seedlings between fertilization treatments was 1–2 °C. One explanation for such a difference might be that there was stronger supercooling (i.e. delayed ice crystallization) in the highest fertilization treatment than there was in the lowest. This might be due to more concentrated extracellular sap and accordingly increased osmotic pressure in the highest fertilized seedlings (cf. Timmis 1974). Although the observed difference in hardiness was small it may be of significant importance for nurseries, as well as in the forest, because at this stage of development dramatic increases in frost injuries occur in a very narrow temperature range. The experiment ceased in an early stage of hardiness development. Accordingly, we cannot conclude if the difference increased or reversed during the ensuing overwintering period. If the difference remained the same, with more hardy samples than in this experiment, its ecological significance is less than it appears to be in this experiment. This is due to the fact that the critical temperature range for damaging becomes broader with hardening (Zhu and Liu 1987).

The improved frost hardiness resulting from fertilization raises questions with regard to optimum nutrient concentrations in seedlings. In our experiment, the seedlings in the highest fertilization treatment with a foliar nitrogen concentration of 14–16 mg g^{-1} during the testing period were nearer to the optimum than in the lowest (Aronsson 1980). Several other studies, mostly with spruce seedlings, have shown impaired frost hardiness in nutrient-deficient seedlings (e.g. DeHayes et al. 1989; Klein et al. 1989; Troeng and Ackzell 1990). On the other hand, with pine seedlings nutrient concentration had no or only a minor effect on frost hardiness (Hellergren 1981; Toivonen et al. 1991; Calme et al. 1993). In our study, it is difficult to separate the effects of different nutrients but it seems that N had a more important role than P or K because N behaved consistently with frost hardiness. When compared to recommended concentrations (Ingestad 1979; Landis 1989), there was no lack of P or K. Instead, it might even be possible that a high proportion of K had a negative effect on frost hardiness (cf. Gusta et al. 1982). Timmis (1974) emphasized the importance of the K/N-ratio with respect to frost hardiness and he suggested the approximate value of 0.6 as an optimum. This figure is slightly lower than in this study (0.74–0.80).

In addition to the amount of nutrients applied and their relative proportions, the timing of this application is also considered important (Glerum 1985). In this study, the different fertilization treatments were started on July 9 and continued until September. In order to slow the excess growth of needles in July, but to increase the nutrient concentration of seedlings, the fertilization should perhaps be ceased in July and started again later, e.g. in August. Late-season fertilization, termed nutrient loading, increases internal nutrient

concentration without changing total dry mass (van den Driessche 1985; Margollis and Waring 1986; Timmer and Munson 1991), root growth capacity (van den Driessche 1985) and frost hardiness (Thompson 1983), as well as the growth of seedlings after planting (van den Driessche 1988; Timmer et al. 1991). In this study, the effect on the frost hardiness might also have been stronger if fertilization had been started after the growth cessation of needles.

In conclusion, although fertilization prolonged the growth period of needles, it did not impair their hardening. The seedlings with the highest nutrient concentrations had the least needle damage after exposing them to artificially produced frost at the initial stages of hardening. However, in order to obtain a comprehensive picture of the effects of fertilization on frost hardiness future, experiments should contain wider spectrums of the separate fertilization applications than those used in this study. The experiment should also cover the whole annual cycle in order to find the phase where fertilization has the strongest effect on the acclimation response. In addition, attention has to be given to different forms of frost hardiness, i.e. frost hardiness between and within organs (Colombo et al. 1995).

Acknowledgements

We would like to Ms. Ritva Pitkänen for her technical assistance and Mr. Gregory Watson for his revision of the English of the original manuscript. This study was supported by The Academy of Finland.

References

Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. Studia Forestalia Suecica 155. p. 27.

Calme, S., Margolis, H. A. and Bigras, F. J. 1993. Influence of cultural practices on the relationship between frost tolerance and water content of containerized black spruce, white spruce, and jack pine seedlings. Can. J. For. Res. 23: 505–511.

Christersson, L. 1975. Frost-hardiness development in Pinus silvestris L. Seedlings at different levels of potassium and calcium fertilization. Can. J. For. Res. 5: 738–740.

Colombo, S. J., Zhao, S. and Blumwald, E. 1995. Frost hardiness gradients in shoots and roots of Picea mariana seedlings. Scand. J. For. Res. 10: 32–36.

DeHayes, D. H., Ingle, M. A. and Waite, C. E. 1989. Nitrogen fertilization enhances cold tolerance of red spruce seedlings. Can. J. For. Res. 19: 1037–1043.

Edwards, I. K. 1989. The effects of mineral nutrition on hardening-off of conifer seedlings. Intermountain Forest Nursery Associations. August 14–18, 1989. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Station. Gen. Tech. Rep. RM-184: 98–102.

Friedland, A., Gregory, R., Kärenlampi, L. and Johnson, A. 1984. Winter damage to foliage as a factor in red spruce decline. Can. J. For. Res. 14: 963–965.

Glerum, C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: Principles and applications, pp. 107–123. In: Duryea, M. L. (Ed.) Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests. Forest Research Laboratory. Proceedings of the workshop held October 16–18, 1984. Oregon State University, Corvallis.

Gusta, L. V., Fowler, D. B. and Tyler, N. J. 1982. Factors influencing hardening and survival in winter wheat, pp. 23–40. In: Li, P. H. and Sakai, A. (Eds) Plant Cold Hardiness and Freezing Stress: Mechanisms and Crop Implications. Academic Press, New York.

Hansen, J. M. 1992. Effects of nutritional factors on frost hardening in Larix leptolepis (Sieb and Zucc.) Gord. Scand. J. For. Res. 7: 183–192.

Hawkins, B., Davradou, M., Pier, D. and Shortt, R. 1995. Frost hardiness and winter photosynthesis of Thuja plicata and Pseudotsuga menziesii seedlings grown at three rates of nitrogen and phosphorus supply. Can. J. For. Res. 25: 18–28.

Hellergren, J. 1981. Frost hardiness development in Pinus silvestris seedlings in response to fertilization. Physiologia Plant. 52: 297–301.

Ingestad, T. 1979. Mineral Nutrient requirements of Pinus silvestris and Picea abies seedlings. Physiologia Plant. 45: 373–380.

Klein, R. M., Perkins, T. D. and Myers, H. L. 1989. Nutrient status and winter hardiness of red spruce foliage. Can. J. For. Res. 19: 754–758.

Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla-ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Summary: On the occurence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. Folia Forestalia 78. 25 p.

Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization, pp. 1–67. In: Landis, T. D., Tinus, R. W., MacDonald, S. E. and Barnett, J. P. (Eds) The Container Tree Nursery Manual. Volume 4. Agriculture Handbook 674. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Levitt, J. 1956. The Hardiness of Plants. Academic Press. New York. 278 p.

Margolis, H. A. and Waring, R. H. 1986. Carbon and nitrogen allocation patterns of Douglas-fir seedlings fertilized with nitrogen in autumn. II. Field performance. Can. J. For. Res. 16: 903–909.

Miller, B. D. and Timmer, V. R. 1994. Steady-state nutrition of Pinus resinosa seedlings: Response to nutrient loading, irrigation and hardening regimes. Tree Physiology 14: 1327–1338.

Pellett, H. M. and Carter, J. V. 1981. Effect of nutritional factors on cold hardiness of plants. Horticultural Reviews 3: 144–171.

Raulo, J. and Leikola, M. 1974. Tutkimuksia puiden vuotuisen pituuskasvun ajoittumisesta. Summary: Studies on the annual height growth of trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 81(2). 19 p.

Repo, T. and Lappi, J. 1989. Estimation of Standard Error of Impedance-estimated Frost Resistance. Scand. J. For. Res. 4: 67–74.

Rikala, R. and Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus männyn kaksivuotisten paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Summary: Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year old containerized Scots pine seedlings. Folia Forestalia 745. 16 p.

Solantie, R. 1987. Hallojen loppuminen keväällä ja alkaminen syksyllä. Summary: Last spring frosts and first autumn frosts in Finland. Finnish Meteorological Institute. Meteorological publications 6. 60 p.

Thompson, B. 1983. Why fall fertilize?. Teoksessa: Proceedings: Western Nursery man's conference. Western Forestry Nursery Council. 10–12, Aug. 1982, pp. 85–91. Southern Oregon State College, Ashland, Medford, OR

Timmer, V. R., Armstrong, G. and Miller, B. D. 1991. Steady-state nutrient preconditioning and early outplanting performance of contrainerized black spruce seedlings. Can. J. For. Res. 21: 585–594.

Timmer, V. and Munson, A. D. 1991. Site-specific growth and nutrition of planted Picea mariana in the Ontario Clay Belt. IV. Nitrogen loading response. Can. J. For. Res. 21: 1058–1065.

Timmis, R. 1974. Effect of nutrient stress on growth, bud set, and hardiness in Douglas-fir seedlings, pp. 187–193. Paper Presented at North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium. Denver, Colorado, August 26–29.

Toivonen, A., Rikala, R., Repo, T. and Smolander H. 1991. Autumn colouration of first year Pinus sylvestris seedlings during frost hardening. Scand. J. For. Res. 6: 31–39.

Troeng, E. and Ackzell, L. 1990. Effects of carbon dioxide enrichment on bud formation and growth of coniferous seedlings. Acta Horticulturae 268: 179–189.

van den Driessche, R. 1985. Late-season fertilization, mineral nutrient reserves, and retranslocation in planted Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (mirb.) Franco) seedlings. For. Sci. 31: 484–496.

van den Driessche, R. 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. Can. J. For. Res. 18: 172–180.

Weiser, C. J. 1986. Principles of plant freezing resistance and injury. Plant Propagators Society, combined Proc. 35: 229–236.

White, K. J., Haun, S. A., Horsman, N. G. and Wong, S. D. 1988. SHAZAM-Econometrics Computer Program. In: Stratford, S. D. (Ed) User's Reference Manual. McGraw-Hill Book Company, Montreal. 330 p.

Zhu, G. H. and Liu, Z. Q. 1987. Determination of median lethal temperature using logistic function, pp. 291–298. In: Li, P. H. (Ed) Plant Cold Hardiness. Alan R. Liss.

V

FOLIA FORESTALIA 745

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Risto Rikala & Seppo Huurinainen

LANNOITUKSEN VAIKUTUS KAKSIVUOTISTEN MÄNNYN PAAKKUTAIMIEN KASVUUN TAIMITARHALLA JA ISTUTUKSEN JÄLKEEN

Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year-old containerized Scots pine seedlings

Approved on 29.12.1989

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT 3
21. Taimien kasvatus 3
211. Kasvatuskäsittelyt ja -ympäristö 3
212. Mittaukset 4
22. Taimien testaus 5
23. Aineiston käsittely 6
3. TULOKSET 6
31. Taimitarhavaihe 6
311. Kasvualusta 6
312. Taimet 6
32. Taimien istutuksen jälkeinen menestyminen 9
321. Astiakoe 9
322. Maastokoe 9
4. TULOSTEN TARKASTELU 11
KIRJALLISUUS — *REFERENCES* 13
SUMMARY 15
LIITE — *APPENDIX* 16

Rikala, R. & Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus kaksivuotisten männyn paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Summary: Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year-old containerized Scots pine seedlings. Folia Forestalia 745. 16 p.

Männyn paperikennotaimia kasvatettiin kahden turvetuottajan (Vapo Oy ja Satoturve Oy) taimitarhaturpeessa. Ensimmäisenä vuonna lannoitettiin kaikkia taimia samalla tavalla. Toisena vuonna lannoitus eriytettiin kolmelle tasolle. Lannoituksen vaikutusta tutkittiin puristeneste- ja neulasanalyysein sekä seuraamalla taimien morfologista kehittymistä. Taimien metsänviljelykelpoisuutta testattiin kasvukauden kestäneessä astiakokeessa ja neljä kasvukautta kestäneessä maastokokeessa. Lannoitus kasvatti taimien kuivamassaa, erityisesti neulasmassaa, lisäsi neulasten ravinnepitoisuutta ja aiheutti jälkikasvuisuutta. Taimien pituuteen lannoituksella oli vähäinen vaikutus. Turpeen aiheuttamat erot olivat pienempiä kuin lannoituksen vaikutukset. Kaikissa taimissa oli istutuksen jälkeen voimakkaat istutustusshokin oireet; nuoret neulaset olivat lyhyitä ja kellertäviä. Neulasten ravinnepitoisuudet laskivat alle puoleen taimitarhavaiheen pitoisuuksista ja erot lannoitustasojen välillä tasoittuivat. Kuitenkin vain 4 % taimista kuoli neljän vuoden aikana. Alimman lannoitustason taimien pituuskehitys oli maastossa merkitsevästi heikompi kuin voimakkaammin lannoitetuilla taimilla.

Scots pine seedlings were grown in paper pots filled with two types of nursery peat (Vapo Oy and Satoturve Oy). All the seedlings were fertilized similarly during the first growing season. In the beginning of the second growing season the fertilization was differentiated into three levels. The effect of fertilization was studied by nutrient analysis of peat water extract and needles of seedlings, and by following the morphological development of seedlings. Planting performance of seedlings was tested both in the pot experiment (1 year) and the field experiment (4 years). In nursery conditions fertilization increased the dry weight of seedlings, especially needles, nutrient concentration of needles, and the number of lammas shoots produced. The effect of fertilization on the height growth of seedlings was smaller than on dry weight. Different peat types had smaller effects on the growth of seedlings than fertilization levels. There were heavy symptoms of planting check in all seedlings; short and yellowish needles caused by a decrease in nutrient concentration to half that of the nursery level. Differences in needle nutrient concentrations disappeared during the first year after planting. Mortality rate was only 4 % during the four years after planting. The difference in height development of seedlings after outplanting was significant between the lowest and other fertilization levels.

Keywords: *Pinus sylvestris,* nutrient concentration, nutrient content, planting performance.
ODC 232.329.6 + 237.4 + 56.

Authors' addresses: *Rikala:* Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland. *Huurinainen:* Otavan maatalous- ja puutarhaoppilaitos, SF-50670 Otava, Finland.

ISBN 951-40-1088-4
ISSN 0015-5543

Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Lannoituksen vaikutusta yksivuotiaiden männyn paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen on tarkasteltu useissa tutkimuksissa (Anttila & Lähde 1977, Rikala 1982, 1986, Troeng 1988a, 1988b, Troeng & Ackzell 1988). Sen sijaan vanhempien paakkutaimien lannoitusongelmia koskevia tutkimuksia on niukasti. Yksivuotiaiden paakkutaimien kasvatusvaiheesta saatuja kokemuksiakaan ei ole voitu ongelmitta soveltaa kaksivuotiaiden taimien kasvatuksessa (Parviainen 1984).

Käytännössä on havaittu, että yksivuotisten männyntaimien kasvatuksessa yleisesti käytetty verraten runsas lannoitus (Rikala & Westman 1979) johtaa toisena kasvukautena käytettäessä männyntaimilla voimakkaaseen neulasten kasvuun ja taimien jälkikasvuisuuteen. Toisaalta ravinteiden puutetta ilmenee usein toisen kasvukauden lopulla sateiden aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Orgaanisen aineen hajotessa turpeen tilavuus pienenee noin 10 % vuodessa (Puustjärvi 1977), mistä syystä paakun kyky varastoida vettä ja ravinteita pienenee. Paakun ravinnevaraston ehtymisen ja syksyllä jatkuvan voimakkaan juurten kasvun (Langlois ym. 1983) johdosta taimet ilmeisesti siirtävät ravinteita versosta juuriin (Troeng 1988b), mikä aiheuttanee taimien neulasten epätasaisen, kellanpunertavan värin (esim. Parviainen 1984) tai jopa neulasten kuolemisen.

Tulokset taimitarhavaiheen lannoituksen vaikutuksesta taimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen ovat olleet ristiriitaisia. Yleensä lannoitus ja neulasten korkea typpipitoisuus ovat lisänneet istutuksen jälkeistä pituuskasvua, mutta eloonjäämistulokset ovat olleet vaihtelevampia (Duryea & McClain 1984). Taimien istutuksen jälkeiset mukautumisongelmat on yleensä liitetty taimien vesitalouteen (Hallman ym. 1978) kun taas ravinnetalouteen on kiinnitetty vasta viimeaikoina huomiota (Troeng & Ackzell 1988, Munson & Timmer 1989a, 1989b). Valtaosa tutkimuksista on lisäksi tehty ulkomaisilla puulajeilla ja olosuhteissa, jotka eivät vastaa meidän ilmastomme ja maaperämme olosuhteita.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään lannoituksen vaikutusta männyn paakkutaimien morfologiaan ja neulasten ravinnepitoisuuteen taimitarhalla toisena kasvukautena sekä vertailemaan näiden taimien mukautumista istutuksen jälkeen astia- ja maastokokeessa.

Tutkimus kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston "taimien kasvatus"-hankkeeseen ja se toteutettiin yhteistyössä Taimi-Tapion ja Pekolammin taimitarhan kanssa. Taimitarhavaiheen ravinneanalyysit kustansi Taimi-Tapio. Käsikirjoituksen lukivat prof. Erkki Lähde ja dos. Heikki Smolander sekä ennakkotarkastajina prof. Eino Mälkönen ja dos. Pasi Puttonen. Englanninkielisen tekstin tarkasti Helen Jozefek, B.Sc. Kiitämme kaikkia työn valmistumiseen vaikuttaneita henkilöitä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Taimien kasvatus

211. Kasvatuskäsittelyt ja -ympäristö

Männyn (*Pinus sylvestris* L.) taimet kasvatettiin Pekolammin taimitarhalla (P 63° 20′, I 27° 25′; 110 m mpy) paperikennoissa (FS 608), joiden tilavuus oli 196 cm^3 ja kennotiheys 80 kennoa/arkki (333 kpl m^{-2}). Osa kennoarkeista täytettiin Vapo-400 metsätaimiturpeella (myöh. vapoturve) ja osa Satoturpeen ST-400 PP6 turpeella (myöh. satoturve). Turpeet oli peruskalkittu dolomiittikalkki 1:llä (3,0 kg m^{-3}). Vapoturpeessa peruslannoituksena oli 1,0 kg m^{-3} Kekkilän turpeen peruslannoitetta n:o 4 ja satoturpeessa 1,25 kg m^{-3} ST-tasolannoitetta n:o 6 (liite 1). Männyn siemenet (alkuperä T10-81-11, käyttöalue Pohjois-Savo 2) kylvettiin 19.6.1984.

Turpeiden rakenne tutkittiin 20 kennosta koostetusta irtonäytteestä kolme kertaa toisen kasvukauden aikana Viljavuuspalvelu Oy:ssä (Puustjärvi 1969). Analyysiajankohdalla eikä lannoituksella ollut vaikutusta turpeen rakenteeseen. Kaikkien analyysikertojen keskiarvona satoturpeen tiheys (96,4 g dm^{-3}) oli pienempi ja huokostila (93,5 %) suurempi kuin vapoturpeen vastaavat arvot (104,4 g dm^{-3} ja 92,9 %). Muissa mitatuissa tunnuksissa ei turvemerkkien välillä ollut eroja. Analyysien keskiarvona oli turpeiden ainestiheys (ent. ominaispaino) 1,48 kg dm^{-3}, vesitila 72 % ja ilmatila 22 %.

Kasteluveden laatua seurattiin Viljavuuspalvelussa

Taulukko 1. Ensimmäisen kasvukauden hoitolannoitesekä typpi-, fosfori- ja kaliummäärät.
Table 1. Amount of topdressing fertilizers and nutrients applied in the first growing season.

Lannoite *Fertilizer*	Määrä *Amount*	N	P	K
			g m^{-2}	
Kekkilä-9	25	4,8	1,3	5,0
Kekkilä-5	30	3,3	1,2	7,6
Kekkilä-4	5	0,8	0,2	1,3
Kalkkisalpietari	5	0,8	—	—
Yhteensä *Total*	65	9,7	2,7	13,9

Taulukko 2. Kasvatusalustan tavoitejohtokykyarvot eri lannoitustasoilla.
Table 2. The target values of electrical conductivity in peat water extract by fertilization level.

Taso *Level*	Aika — *Time* 1.6.—15.8.	16.8.—15.9.
	mS cm^{-1}	
1	0,4—0,8	0,3
2	0,9—1,4	0,7
3	1,5—2,5	1,0

teetetyin analyysein. Ensimmäisenä kasvukautena käytetyn lampiveden johtokyky oli korkeimmillaan 0,36 mS cm^{-1} ja toisena vuonna käytetyn järviveden 0,07 mS cm^{-1}. Ensimmäisen kasvukauden korkeiden typen (28 mg l^{-1}), kaliumin (21 mg l^{-1}), kalsiumin (24 mg l^{-1}) ja kloorin (53 mg l^{-1}) pitoisuuksien ei havaittu aiheuttaneen värivikoja tai muita silminnähtäviä oireita, vaikka ne osin ylittivät haitallisina pidettyjen pitoisuuksien rajat (esim. Seppälä 1981, Bohlin 1988).

Ensimmäisenä kasvukautena vapo- ja satoturpeissa kasvatetuilla taimilla oli sama lannoitusohjelma (taulukko 1). Lannoitteet annettiin kasteluveden mukana 5.7.—14.8.1984. Muovihuoneesta poistettiin muovi 15.8. Taimilaatikoiden alle kasvaneet juuret leikattiin 4.10. Toisen kasvatuskesän alussa, 31.5.1985, taimet siirrettiin muovihuonepohjalta kasvatuskentälle 15 cm:n korkuisille kohokasvatuspalkeille.

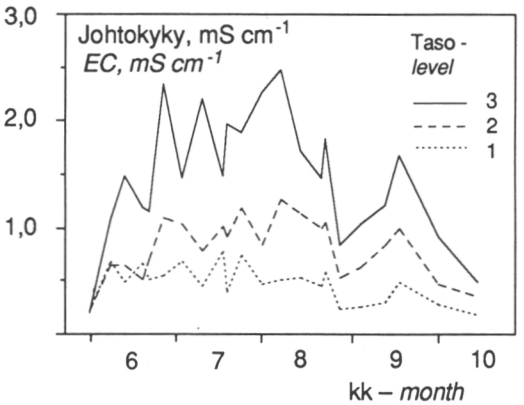
Toisena kasvukautena lannoitus eriytettiin kolmeen turpeen puristenesteen johtokykynä määritettyyn tasoon (taulukko 2). Jokainen koejäsen koostui 30 taimilaatikosta (á 80 tainta). Käytännön järjestelyjen vuoksi koejäseniä ei voitu sijoittaa arvottuihin toistoihin, vaan taimilaatikot ryhmiteltiin koejäsenittäin.

Kasvukauden alussa annettiin kloorivapaata Y-lannosta rakeisena. Muutoin lannoitteet annettiin veteen sekoitettuna kastelukannulla 1—5 kertaa viikossa 0,1—0,4 %:n liuosväkevyydellä riippuen kasvualustan johtokyvystä ja kastelutarpeesta. Johtokykytavoite saavutettiin noin kolmen viikon kuluttua lannoituksen aloittamisesta (kuva 1). Lannoitteina annetut ravinnemäärät (taulukko 3, kuva 2) kattoivat käytännön taimitarhalannoituksen vaihtelun (Rikala & Westman 1979).

Taimilaatikot pyrittiin pitämään kasvien kannalta optimikosteudessa (39—46 til.-%) (Puustjärvi 1973) punnitsemalla ja kastelemalla ne normaalikastelun lisäksi viikoittain 8,0—9,0 kg:n tavoitemassaan. Kevyimmillään taimilaatikot painoivat keskimäärin 7,5 kg heinäkuun puolessa välissä, minkä jälkeen niiden massa lisääntyi runsaiden sateiden vuoksi. Raskaimmillaan, syyskuun lopulla, ne painoivat noin 13 kg, mikä vastaa 65 til.-%:n kosteutta.

Sienitautien torjuntaan käytettiin ensimmäisenä kasvukautena manebia (1,8 g m^{-2}), zinebiä (0,2 g m^{-2}) ja kvintotseenia (0,8 g m^{-2}) sekä toisena kasvukautena manebia (2,0 g m^{-2}), zinebiä (0,2 g m^{-2}), oksikarboksiinia (0,05 g m^{-2}), klorotaloniilia (0,14 g m^{-2}) ja kvintotseenia (0,8 g m^{-2}). Rikkaruohot kitkettiin käsin. Ennen maastoon viemistä taimet ruiskutettiin päältä tukkimiehentäitä vastaan sypermetriinillä (0,03 g m^{-2}).

Pekolammin taimitarhalta 40 km etelään sijaitsevan Kuopion lentoaseman säähavaintoaseman mittausten mukaan (Ilmatieteen laitoksen kuukausikatsaukset



Kuva 1. Turpeen puristenesteen johtokyky toisen kasvukauden aikana eri lannoitustasoilla.
Fig. 1. Electrical conductivity (EC) of peat water extract during the second growing period by fertilization level.

1985) kesä 1985 oli lämpöoloiltaan lähellä pitkäaikaiskeskiarvoa (Kolkki 1966). Loppukesän sademäärät olivat keskimääräistä (Helimäki 1967) noin 30 % suuremmat.

212. Mittaukset

Kasvualusta

Turpeen puristenesteen johtokyky (LF 91) ja pH (Schott Geräte CG817) mitattiin ensimmäisenä kasvatusvuonna kerran viikossa 15 eri puolella muovihuonetta sijainneesta, satunnaisesti valitusta taimilaatikosta koostetusta näytteestä (1 kenno/laatikko). Toisena kasvatusvuonna puristenesteen johtokyky ja pH mitattiin jokaisesta koejäsenestä 1—2 kertaa viikossa 5 taimilaatikon (1 kenno/laatikko) kokoomanäytteestä.

Kasvualustan puristenesteen ravinnepitoisuudet määritettiin ensimmäisenä kasvukautena kolme ja toisena kuusi kertaa Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Sentrifugoiduista ja suodatetuista puristenestenäytteistä mitattiin kokonaistypen pitoisuus Kjeldahl-menetelmällä ja muut ravinteet mitattiin plasmaemissiospektrofotometrillä (Jarrell-Ash ICAP 9000). Näytteet koostettiin ensimmäisenä vuonna 15 ja toisena vuonna 10 laatikosta.

Taulukko 3. Toisena kasvatuskesänä annetut hoitolannoitteet ja niiden sisältämät typpi-, fosfori- ja kaliummäärät.
Table 3. Amount of topdressing fertilizers and N-, P-, K-nutrients applied in the second growing season.

Lannoitustaso *Fertilization level*	Lannoitteet — *Fertilizers* Kloorivapaa Y-lannos	Kekkilä Superex 9	5	Ravinteet — *Nutrients* N	P	K
			g m^{-2}			
1	15	10	46	8	4	15
2	25	36	106	21	9	37
3	48	53	146	29	14	52

Taimet

Ensimmäisen kasvatusvuoden syksyllä (4.10.) analysoitiin 15 taimilaatikosta (20 tainta/laatikko) koostetusta neulasnäytteestä typen (Kjeldahl-menetelmä), fosforin (Horwitz 1965), kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, boorin, raudan ja molybdeenin pitoisuudet (Analytical methods... 1982).

Toisena kesänä kasvualusta-analyysiä varten nostetuista kennoista (20 kpl/koejäsen/kerta) otettiin taimien viimeisen vuosikasvaimen neulasista näytteet ravinnepitoisuuksien analysointia varten 7 kertaa. Ensimmäisestä (8.5.) ja viimeisestä (14.10.) näytteestä analysoitiin ensimmäisenä syksynä analysoitujen ravinteiden lisäksi kuparin, mangaanin, sinkin (Analytical methods... 1982) ja rikin (Official methods... 1984) pitoisuudet. Muista näytteistä analysoitiin vain typpi, fosfori ja kalium. Kaikki analyysit teetettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä.

Morfologisia mittauksia varten otettiin toisen kasvukauden aikana taimista näytteet (10 tainta/koejäsen) kuusi kertaa turve- ja puristenestenäytteiden oton yhteydessä samoista taimilaatikoista. Taimista mitattiin pituus, vuosikasvaimen pituus, tyviläpimitta ja viimeisen vuosikasvaimen puolivälistä valitun kahden vastakkaisella puolella olevan lyhytverson pituus sekä laskettiin sivuversojen ja paakun sisäpuoleisten sivujuurien (> 2 cm) lukumäärä. Neulasten, rangan ja juuriston kuivamassat punnittiin 2 vrk:n kuivatuksen (+70°C) jälkeen. Juurten mykorritsaisuus arvioitiin dikotomisiin juurenkärkiin perustuvalla silmävaraisella luokituksella. Taimien värimuutoksista tehtiin silmävaraisia havaintoja.

Syksyllä (2.10.) mitattiin lisäksi jokaisesta koejäsenestä 10:stä systemaattisesti valitusta taimilaatikosta kustakin 10 satunnaisesti valitun taimen pituus turpeen pinnasta silmun kärkeen. Samassa yhteydessä inventoitiin jälkikasvuisten sekä kuolleiden taimien osuus kaikista taimilaatikoista.

22. Taimien testaus

Astiakoe

Taimien testaamiseksi perustettiin 15.5.1986 astiakoe Suonenjoen taimitarhan (P 62° 39′, I 27° 03′; 140 m mpy) muovihuoneeseen, jossa sekä helma- että kattotuuletusluukkuja pidettiin avattuina. Vapoturpeessa kasvatettuja taimia istutettiin, kennopaperi poistettuna, hienolla hiekalla (keskiraekoko 0,2—0,6 mm) täytettyihin 12 litran (37×29×12 cm^3) muovilaatikoihin. Hiekkanäytteen ravinnepitoisuus analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä (Viljavuustutkimuksen... 1988):

pH $_{(H_2O)}$	5,9	boori	0,1 mg l^{-1}
kokonaistyppi	0,05 %	kupari	0,4 mg l^{-1}
fosfori	1,1 mg l^{-1}	sinkki	0,2 mg l^{-1}
kalium	20 mg l^{-1}	rauta	18 mg l^{-1}
kalsium	100 mg l^{-1}	mangaani	0,6 mg l^{-1}

Testilaatikot (36 kpl) jaettiin kolmeen ryhmään, joissa hiekan kosteus säädettiin 75, 50 ja 25 %:ksi kasvualustan vesikapasiteetista punnitsemalla ja kastelemalla ne tavoitemassaansa kerran viikossa. Jokaista lannoituskäsittely × kosteus -yhdistelmää edusti neljä laatikkoa (à 8 tainta).

Taimien pituuskasvu mitattiin viikoittain. Taimet nostettiin lokakuun lopussa, jolloin mitattiin niiden pituus ja viimeisen vuosikasvun pituus, tyviläpimitta, pisimmän juuren pituus sekä vuosien 1984 ja 1985 latvakasvaimien puolesta välistä kahden lyhytverson pituus. Neulasten väri luokiteltiin silmävaraisella luokituksella: 0 ruskea (kuollut), 1 punakellertävä, 2 kellanvihreä, 3 vihreä. Neulasten, rangan ja juuriston kuivamassat (kuivatus 2 vrk, +70°C) punnittiin. Neulasista analysoitiin käsittelyittäin typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, mangaanin, raudan, alumiinin, kuparin, sinkin ja boorin pitoisuudet Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa (Jarva & Tervahauta 1987).

Maastokoe

Pitempiaikaista seurantaa varten perustettiin koe Ruuttulan taimitarhan (P 62° 53′, I 28° 19′, 102 m mpy) pellolle, jonka maalaji oli hiuetta. Koealueen maa analysoitiin samoin kuin astiakokeessa:

pH $_{(H_2O)}$	5,2	boori	0,3 mg l^{-1}
kokonaistyppi	0,13 %	kupari	0,7 mg l^{-1}
fosfori	7,2 mg l^{-1}	sinkki	0,9 mg l^{-1}
kalium	38 mg l^{-1}	rauta	540 mg l^{-1}
kalsium	100 mg l^{-1}	mangaani	15,8 mg l^{-1}

Pelto kynnettiin syksyllä 1984 ja äestettiin ennen istutusta. Kustakin koejäsenestä istutettiin 20 tainta yhden metrin rivi- ja taimivälein kuuteen satunnaisesti arvottuun rinnakkaiseen riviin, jotka muodostivat lohkon. Lohkoja oli 8 kpl ja koko kokeen taimimäärä oli 960 kpl. Taimet istutettiin 20.—21.5.1986 .

Istutuspäivien sää oli pilvinen ja osin sateinen. Lämpötila oli 10—13°C. Kasvillisuus, valtalajeina metsä- ja nurmilauha, juolavehnä sekä rönsyleinikki, torjuttiin vuosittain mekaanisesti heinäkuun lopussa.

Koe inventoitiin kasvukauden lopulla neljänä peräkäisenä syksynä, jolloin mitattiin taimien pituus ja pi-

tuuskasvu, arvioitiin taimien kunto (luokitus 0—3) ja todettiin vaurioiden aiheuttajat. Vuoden 1987 inventoinnissa mitattiin lisäksi kahden viimeisen vuoden kasvaimesta otettu kahden lyhytverson pituus sekä kerättiin ylimmistä sivuversoista neulasnäytteet, joista analysoitiin käsittelyittäin lohkokohtaisesti samat ravinteet kuin astiakokeesta Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa.

23. Aineiston käsittely

Taimitarhavaiheen koejäsenten välisten erojen testaukset suoritettiin BMDP:n t-testillä. Astia- sekä maastokokeen testauksiin käytettiin BMDP:n yksi- ja kaksisuuntaista varianssianalyysiohjelmaa ja pareittaisiin keskiarvojen testauksiin t-testiä. Elossaolosadannesten ja jälkikasvuisten taimien osuuksien testaamista varten havainnot muunnettiin arcsin-muunnoksella. Korrelaatio- ja regressioanalyysit laskettiin AKTA-ohjelmalla (Lappi & Smolander 1983).

3. TULOKSET

31. Taimitarhavaihe

311. Kasvualusta

Erot vapo- ja satoturpeiden peruslannoituksessa käyvät ilmi ensimmäisen kasvukauden heinäkuun alun puristenesteanalyysin tuloksissa (taulukko 4). Satoturpeessa oli huomattavasti enemmän rikkiä kuin vapoturpeessa. Samoin sen johtokyky (sato 1,9 mS cm^{-1}, vapo 1,6 mS cm^{-1}) sekä fosfori- ja hivenainepitoisuudet rautaa lukuunottamatta olivat korkeammat kuin vapoturpeessa, jossa puolestaan oli enemmän typpeä.

Toisen kasvukauden alkuun mennessä kasvualustan puristenesteen ravinnepitoisuudet olivat pienentyneet ja erot turvemerkkien välillä lähes hävinneet. Ravinnepitoisuudet olivat toisena kasvukautena korkeimmillaan ravinteesta riippuen yleensä heinä—elokuussa, mutta kaliumpitoisuus oli korkea vielä syyskuussa (kuva 2). Analyysitulokset on esitetty lannoitustasoittain, koska erot ravinnepitoisuuksissa turvemerkkien välillä olivat pienet.

312. Taimet

Ensimmäisen kasvukauden syksyllä neulasten ravinnepitoisuudet olivat varsin korkeat, mutta pitoisuuserot eri turpeissa kasvaneiden taimien välillä olivat pienet (taulukko 5). Toisena kasvukautena taimien neulasten ravinnepitoisuuksien ja morfologisten tunnusten osalta tulokset yhdistettiin lannoitustasoittain, koska otoksen taimimäärä oli pieni ja erot eri turpeissa kasvaneiden taimien välillä olivat vähäisiä. Neulasten pääravinnepitoisuudet olivat alentuneet edellisen syksyn tasosta toisen kasvukauden alkuun 10—20%. Neulasten typpi- ja fosforipitoisuudet laskivat edelleen voimakkaimman kasvun aikana ja alkoivat nousta elokuussa (kuva 2). Aleneminen oli vähäisintä korkeimmalla lannoitustasolla. Neulasten kaliumpitoisuus sen sijaan kohosi aina elo—syyskuulle saakka.

Toisen kasvatuskauden lopulla neulasten pääravinne- ja hivenainepitoisuudet olivat yleensä sitä korkeammat mitä voimakkaammin taimia oli lannoitettu. Poikkeuksena oli fosfori, jonka pitoisuudet eri lannoitustasojen

Taulukko 4. Kasvualustan puristenesteen ravinnepitoisuudet ensimmäisenä kasvukautena (4.7.1984) turvemerkeittäin ja toisen kasvukauden loppupuolella (23.8.1985) eri lannoitustasoilla turvemerkit yhdistettynä.

Table 4. Nutrient concentrations in peat water extracts of Vapo- and Sato-peats in the first growing season (July 4, 1984) and by fertilization level at the end of the second growing season (Aug. 23, 1985).

Käsittely *Treatment*	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Mn	Zn
						mg l^{-1}						
Turve — *Peat*					1. kasvukausi — *1st growing season*							
Vapo	135	98	145	80	53	9	73	1,20	0,35	0,30	0,50	0,17
Sato	90	122	145	57	56	119	93	0,78	0,82	0,84	0,59	0,44
Lannoitustaso *Fertilization level*					2. kasvukausi — *2nd growing season*							
1	29	25	106	30	16	44	17	2,1	0,20	0,15	1,50	1,7
2	51	68	197	36	21	61	22	2,8	0,25	0,23	1,40	3,1
3	133	135	324	58	43	85	85	2,5	0,48	0,29	1,20	4,5

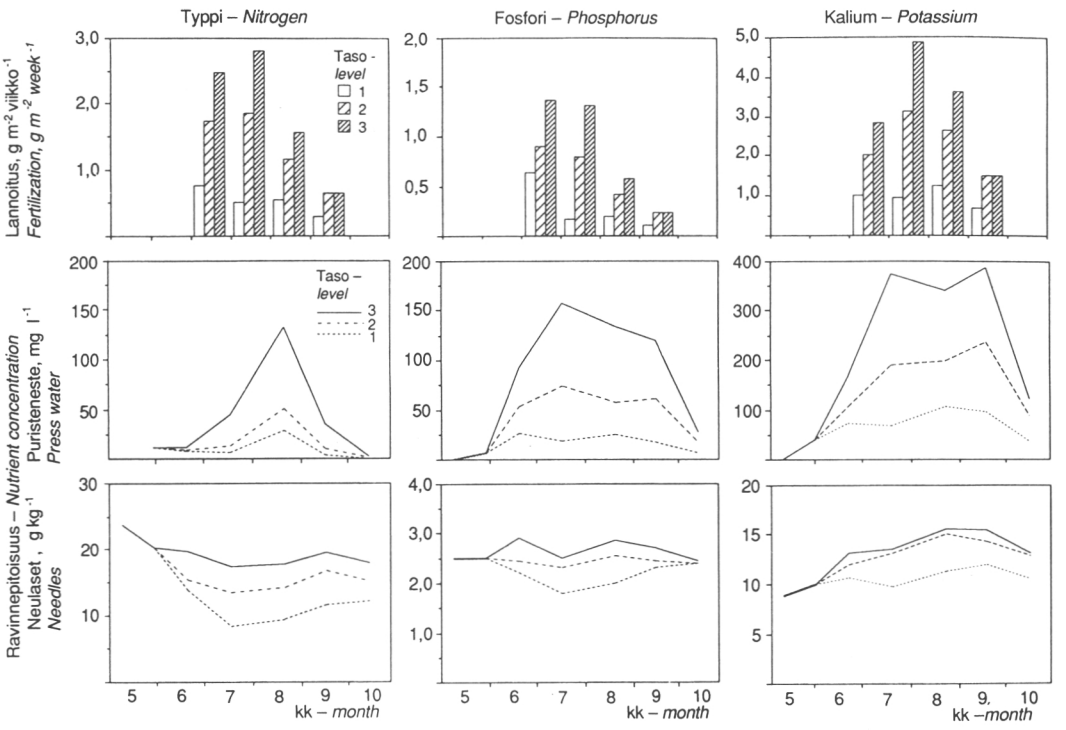
taimien välillä olivat tasaantuneet lokakuussa ja kalsium sekä mangaani, joiden pitoisuudet olivat sitä korkeampia mitä vähemmän taimia oli lannoitettu.

Eri lannoituskäsittelyissä myös neulasten värissä oli eroja heinäkuun puolivälistä alkaen, jolloin alimman lannoitustason taimien väri muuttui vihreästä vaaleanvihreäksi ja edelleen kellertävämmäksi kasvukauden lopussa. Keskimmäisen lannoitustason taimien väri oli loppusyksyllä vaaleanvihreä ja korkeimman tummanvihreä.

Taulukko 5. Taimien neulasten ravinnepitoisuudet taimitarhalla ensimmäisen kasvukauden lopussa (4.10. 1984) turvemerkeittäin ja toisen kasvukauden lopussa (14.10.1985) eri lannoitustasoilla turvemerkit yhdistettynä.

Table 5. Nutrient concentrations of needles at the end of the first growing season (Oct.4, 1984) by peat type and at the end of the second growing season (Oct. 14, 1985) by fertilization level.

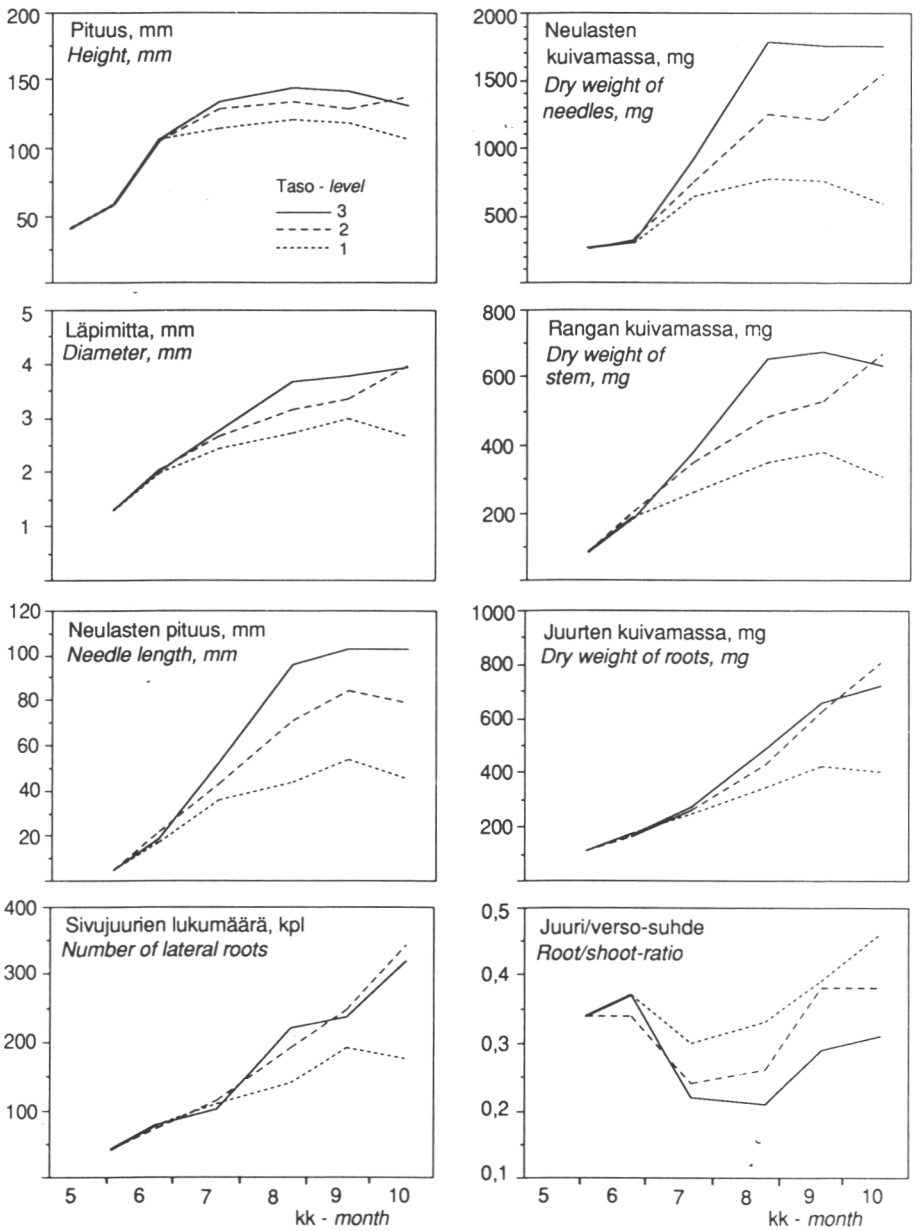
Käsittely	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Cu	Mn	Zn	Mo
Treatment	g kg^{-1}					mg kg^{-1}					
Turve — *Peat*	1. kasvukausi — *1st growing season*										
Vapo	25,8	3,3	11,0	2,0	1,5	80	29				0,5
Sato	26,7	3,1	12,0	1,7	1,5	96	44				0,7
Lannoitustaso *Fertilization level*	2. kasvukausi — *2nd growing season*										
1	12,1	2,4	10,5	2,0	1,5	93	23	5,4	626	117	1,2
2	15,2	2,4	12,8	1,7	1,4	82	24	5,6	418	125	1,6
3	18,0	2,4	13,1	1,6	1,4	80	30	6,9	310	139	1,3



Kuva 2. Lannoitteina annettujen typen, fosforin ja kaliumin määrät sekä niiden pitoisuudet turpeen puristenesteessä ja neulasissa lannoitustasoittain toisen kasvukauden aikana. Turvemerkit yhdistetty (yksi piste edustaa 40 tainta).

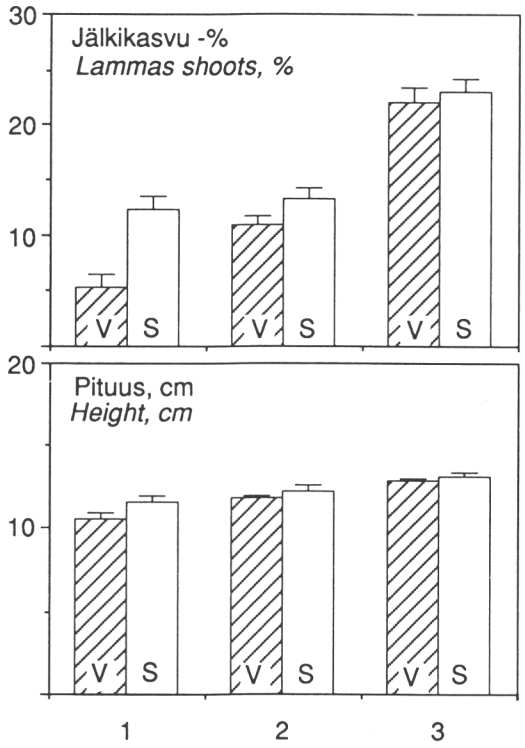
Fig. 2. Amounts of applied nutrients (N, P, K) and their concentrations in peat water extract and needles by fertilization level during the second growing season in the nursery. Peat types were combined (one point represents 40 seedlings).

Ensimmäisen kesän jälkeen taimien pituus oli noin 4 cm. Toisena kasvatuskesänä verson voimakkain pituuskasvu oli ohi kesäkuun loppuun mennessä (kuva 3). Taimien tyviläpimitta ja neulasten pituus kasvoivat elokuun jälkipuoliskolle saakka sitä voimakkaampana mitä enemmän taimia lannoitettiin. Juuriston kuivamassa ja sivujuurien lukumäärä lisääntyivät läpi koko tarkastelujakson, aina lokakuulle asti. Lannoitus pie-



Kuva 3. Taimien pituus, läpimitta, neulasten pituus, paakun sisäpuolisten sivujuurien lukumäärä sekä taimien ositteiden kuivamassat ja juuri/verso-suhde toisen kasvukauden aikana taimitarhalla lannoitustasoittain. Turvemerkit yhdistetty, jolloin yksi piste edustaa 20 taimen keskiarvoa.

Fig. 3. Height and stem diameter of seedlings, length of needles, number of lateral roots inside the container, dry weights of seedling components and root/shoot-ratio by fertilization level during the second growing season in the nursery.



Kuva 4. Taimien pituus ja jälkikasvuisten taimien osuus eri lannoitustasoilla (1, 2, 3) ja turvemerkeillä (V=Vapo, S=Sato) taimitarhalla toisen kasvukauden lopussa. Janat kuvaavat arkkikeskiarvojen keskivirhettä.

Fig. 4. Height of seedlings and proportion of lammas shoots in seedlings by peat type (V=Vapo, S=Sato) and fertilization level (1, 2, 3) in the nursery at the end of the second growing season. Bars show the SE of means of seedling trays.

nensi juuri/verso-suhdetta, joka saavutti maksimin kasvukauden lopulla, mutta lisäsi taimien tanakkuutta (100 × läpimitta/pituus) seuraavasti: 1: 2,44, 2: 2,66 ja 3: 2,73.

Taimien pituus 2-vuotisen taimitarhakasvatuksen päättyessä oli loppumittauksen mukaan keskimäärin 12 cm (kuva 4). Vaikka alimman ja korkeimman lannoitustason taimien pituusero oli vain noin 2 cm, olivat erot kaikkien tasojen välillä tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,01$). Turvemerkkien välillä taimien pituusero oli melkein merkitsevä ($p < 0,05$). Jälkikasvuisten taimien osuus lisääntyi lannoitustason kohotessa ($p < 0,01$). Satoturpeessa kasvaneissa taimissa oli matalimmalla lannoitustasolla selvästi enemmän jälkikasvuisuutta kuin vapoturpeen taimissa. Taimien kuolleisuus taimitarhavaiheen lopussa oli kaikissa lannoituskäsittelyissä alle 1 %. Sienitaudit, pääasiassa männynversoruoste, vikuuttivat 0,3 %:a taimista.

32. Taimien istutuksen jälkeinen menestyminen

321. Astiakoe

Kasvualustan kosteudella ei ollut merkitsevää vaikutusta taimien kasvuun, minkä vuoksi myös eri kosteustasoja pidettiin laskennassa toistoina lannoituskäsittelyille. Mitä voimakkaammin taimia oli taimitarhalla lannoitettu sitä paremmin ne kasvoivat ja sitä suurempi oli niiden kuivamassa istutuksen jälkeisenä syksynä (taulukko 6). Taimien kuivamassalisäys korreloi lähes lineaarisesti taimien taimitarhakasvatuksen jälkeisen kuivamassan kanssa. Juuri/verso-suhde oli kasvanut edellisestä syksystä alimman lannoitustason taimilla 0,45:stä 0,50:een ja korkeimman lannoitustason taimilla 0,32:sta 0,56:een. Lannoituksen aiheuttamat erot olivat merkitsevät kaikkien muiden mitattujen tunnusten paitsi nuorimpien neulasten pituuden osalta.

Taimien neulasten ravinnepitoisuudet laskivat istutuksesän syksyyn mennessä voimakkaasti edellisen syksyn arvoista. Typpipitoisuus oli lannoitustasoittain 1: 7,7 g kg^{-1}, 2: 8,4 g kg^{-1} ja 3: 8,9 g kg^{-1}, kaliumpitoisuus oli keskimäärin 7,0 g kg^{-1} ja fosforipitoisuus 1,1 g kg^{-1}. Vaikka erot neulasten typpipitoisuudessa eri lannoitustasojen välillä olivat pienet, pitoisuus oli laskenut sitä alemmaksi mitä voimakkaammin taimia oli kasvatuksen aikana lannoitettu ($p = 0,041$). Kalsium-, magnesium- ja booripitoisuudet olivat pysyneet ennallaan tai hieman nousseet ja mangaanipitoisuus oli pienentynyt lähes puoleen edellisen syksyn arvoihin verrattuna.

Voimakkaimmin lannoitettujen taimien neulasten kaliummäärä oli pysynyt ennallaan ja typpi- sekä fosforimäärät olivat peräti pienentyneet edelliseen syksyyn verrattuna (taulukko 7). Neulasten väri muuttui kellanpunertavaksi voimakkaimmin tarhalla lannoitetuissa taimissa ja säilyi vihreimpänä keskimmäisen lannoitustason taimilla.

322. Maastokoe

Neljän ensimmäisen kasvukauden aikana kuoli kaikkiaan noin 4 % taimista. Vaikka taimia kuoli eniten keskimmäiseltä lannoitus-

Taulukko 6. Taimien morfologiset ominaisuudet astiakokeessa yhden kasvukauden jälkeen. Eri kosteuskäsittelyt yhdistetty. P-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason.

Table 6. Morphological properties of seedlings by fertilization levels in pot experiment in the autumn of the planting year. Moisture treatments are combined. P-values show the significancies of F-ratios of ANOVA.

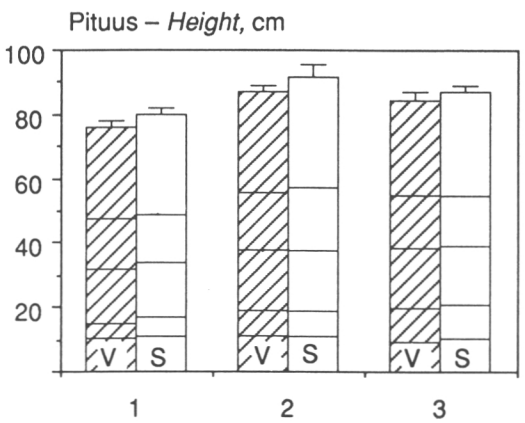
Lannoitustaso *Fertilization level*	Pituuskasvu *Shoot growth*	Neulasten pituus *Needle length* Nuoret *Young*	Vanhat *Old*	Tyviläpimitta *Stem diameter*	Kuivamassa *Dry weight* Neulaset *Needles*	Ranka *Stem*	Juuret *Roots*	Juuri/verso *Root shoot*
	mm				g			
1	79a	33a	48a	3,6a	1,29a	0,74a	1,02a	0,50a
2	119b	35a	68b	4,5b	2,19b	1,41b	1,79b	0,50ab
3	134b	34a	93c	5,3c	3,05c	2,01c	2,81c	0,56b
P-arvot *P-values*	<0,001	0,280	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,063

Huom. Samat kirjaimet keskiarvojen jäljessä osoittavat, että ne eivät poikkea toisistaan Tukeyn-testin mukaan (p=0,05).
Note: Means followed by same letter are not significantly different by Tukey-test (p=0,05).

Taulukko 7. Taimien neulasten ravinnemäärä toisen kasvukauden jälkeen taimitarhalla ja istutuskesän syksyllä astiakokeessa lannoitustasoittain.

Table 7. Nutrient content of needles after second growing season in the nursery and in the autumn of planting year in pot experiment.

Lannoitustaso *Fertilization level*	Vaihe *Phase*	N	P	K
		mg/taimi — *mg/seedling*		
1	tarha — *nursery*	7,1	1,4	8,2
	astia — *pot*	11,5	1,6	8,7
2	tarha — *nursery*	20,1	3,0	16,8
	astia — *pot*	18,5	2,5	15,7
3	tarha — *nursery*	31,0	4,2	23,5
	astia — *pot*	24,2	3,5	23,5



Kuva 5. Taimien pituuskehitys maastokokeessa neljän ensimmäisen istutuksen jälkeisen kasvukauden aikana turvemerkeittäin (V=Vapo, S=Sato) ja lannoituskäsittelyittäin (1, 2, 3). Poikkiviivat erottavat eri vuosien pituuskasvut. Janat kuvaavat käsittelykeskiarvojen keskivirhettä.

Fig. 5. Height development of seedlings during four first years after outplanting in the field experiment by peat type (V=Vapo, S=Sato) and fertilization level (1, 2, 3). Bars show SE of treatment means.

tasolta, jossa taimissa esiintyi myös eniten versosyöpää, kuolleisuudessa varianssianalyysillä testattuna ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa turvemerkkien eikä lannoitustasojen välillä. Erot taimien versosyöpäisyydessäkään eivät olleet merkitseviä.

Toisena ja kolmantena istutuksen jälkeisenä vuonna ei taimissa havaittu uusia versosyövän tuhoja. Vaikka versoruosteisten taimien osuus ensimmäisenä istutuksen jälkeisenä vuonna oli keskimäärin vain 1,3 %, poikkesi voimakkaimmin lannoitettujen taimien osuus (3,1 %) muista käsittelyistä tilastollisesti merkitsevästi ($p<0.05$). Toisena istutuksen jälkeisenä kesänä taimissa oli huomattavasti enemmän versoruostetta (15 % taimista), mutta erot eri käsittelyjen välillä eivät olleet merkitseviä.

Istutuksen jälkeen satoturpeessa kasvatetut taimet kasvoivat hieman paremmin kuin vapoturpeessa kasvaneet taimet (kuva 5). Tilastollisesti pituuskasvujen keskiarvojen ero oli merkitsevä ($p=0,032$) kuitenkin vain neljäntenä kasvukautena, jolloin se oli noin 2 cm. Taimien pituudessa ei seurantajakson aikana muodostunut turvemerkkien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa.

Lannoituksen vaikutus taimien pituuteen ja pituuskasvuun sekä neulasten pituuteen oli merkitsevä ensimmäisenä ($p<0,001$), mutta ei toisena ja kolmantena istutuksen jälkeisenä kasvukautena. Neljäntenä kasvukautena ero pituuskasvussa oli taas merkitsevä ($p=0,005$). Tuolloin t-testillä testattuna

($p < 0,05$) vapoturpeessa kasvatetut 1- ja 2-lannoitustason taimet poikkesivat toisistaan merkitsevästi ja satoturpeessa kasvatetut 1-lannoitustason taimet poikkesivat sekä 2- että 3-lannoitustason taimista. Seurantajakson päättyessä vähiten lannoitetut taimet olivat edelleen merkitsevästi ($p < 0,05$) lyhyempiä kuin voimakkaammin lannoitetut taimet.

Taimien viimeisen vuosikasvaimen neulasten ravinnepitoisuuksissa ei toisena istutuksen jälkeisenä kesänä eri lannoitustasojen tai turvemerkkien välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Keskimäärin pitoisuudet olivat: typpi 10,7 g kg^{-1}, fosfori 1,5 g kg^{-1}, kalium 5,9 g kg^{-1}, kalsium 2,0 g kg^{-1}, magnesium 0,9 g kg^{-1}, mangaani 283 mg kg^{-1}, rauta 615 mg kg^{-1}, kupari 2,8 mg kg^{-1}, sinkki 45 mg kg^{-1} ja boori 16 mg kg^{-1}.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Taimitarhavaihe

Hoitolannoitus lisäsi toisena kasvukautena taimien kokoa ja kuivamassaa, mutta pienensi niiden juuri/verso-suhdetta kuten useissa aiemmissa lannoitustutkimuksissa on todettu (esim. Duryea 1984). Voimakkain lannoitus kaksinkertaisti taimien kuivamassan vähiten lannoitettuihin verrattuna. Voimakkaimmin reagoivat neulaset, joiden kuivamassa kolminkertaistui.

Taimien pituuteen lannoituksella oli tilastollisesti merkitsevä, mutta käytännössä pieni vaikutus, mikä johtuu siitä, että vuotta vanhempien männyntaimien pituuskasvu on suurelta osin ennalta määräytynyt. Ensimmäisen kasvukauden päätesilmun ja sen alapuolella olevien venymättä jääneiden kääpiöversovälien lukumäärä säätelee voimakkaasti pituuskasvua (Thompson 1976). Koska lannoitus lisäsi taimien läpimittaa suhteessa enemmän kuin pituutta, kehittyivät voimakkaimmin lannoitetut taimet tanakimmiksi.

Lannoitus lisäsi merkitsevästi myös taimien jälkikasvuisuutta. Taipumusta jälkikasvuisuuteen pidetään geneettisenä ominaisuutena, johon kuitenkin myös ympäristötekijät kuten sääolosuhteet ja ravinteisuus voimakkaasti vaikuttavat (Rudolph 1964, Aldenin 1971, Ritchie 1984). Jälkikasvusta ei sinänsä yleensä ole todettu olevan haittaa, vaikka se voi olla herkkä aikaisille syyspakkasille (Lavender 1984) ja johtaa taimien monilatvaisuuteen (Rudolph 1964).

Neulasten pääravinnepitoisuudet kaliumia lukuunottamatta laskivat toisen vuoden kesä—heinäkuussa voimakkaimman kasvun aikaan, vaikka juuri silloin taimia lannoitettiin eniten. Voimakkaimmin laski alhaisimman lannoitustason taimien typpipitoisuus, joka oli alimmillaan 8 g kg^{-1} eli selvästi kirjallisuudessa esitettyjen optimiarvojen alapuolella (esim. Ingestad 1962, Armson & Sadreika 1974). Ravinnepitoisuuden lasku johtui todennäköisesti kasvun aiheuttamasta 'laimentumisvaikutuksesta' ja mahdollisesti tärkkelyksen määrän muutoksista aiheutuvasta neulasten kuivamassan vaihtelusta (Aronsson & Elowson 1980).

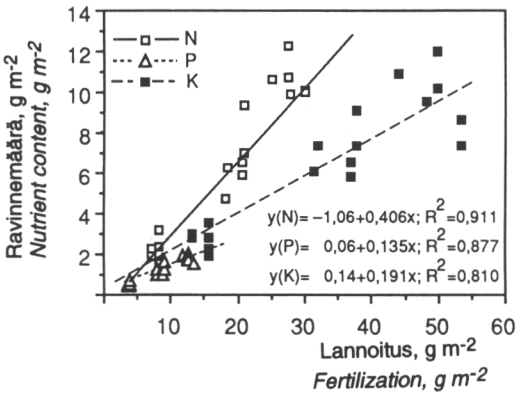
Alimman lannoitustason taimien neulasten kellertävään väriin syyskesällä oli syynä todennäköisesti ravinteiden, nimenomaan typen puute, jota korosti lokakuulle jatkunut juurten voimakas kasvu. Typen puutteessa taimet tyydyttävät ensisijassa juuriston typen tarpeen (Ingestad 1977). Elokuun puolivälistä syyskuun puoliväliin kasvualustan johtokyvyn ollessa alimmalla lannoitustasolla keskimäärin 0,3—0,5 mS cm^{-1}, laski puristenesteen typpipitoisuus alle 5 mg l^{-1}. Vaikka neulasten typpipitoisuus tuolloin hieman kohosikin heinäkuun lukemista, ei niiden väri silmävaraisesti arvioituna muuttunut. Korkeimmalla lannoitustasolla, jolla vastaavana aikana oli puristenesteen johtokyky 1,0—1,5 mS cm^{-1} ja typpipitoisuus 35 mg l^{-1}, taimien väri pysyi tummanvihreänä koko syksyn eikä neulasten typpipitoisuus laskenut elokuun 18 g kg^{-1}:n arvosta. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että neulasten ravinnepitoisuuden liian voimakkaan laskun välttämiseksi lannoitusta tulisi jatkaa aina syyskuun loppupuolelle saakka siten, että puristenesteen typpipitoisuus pysyisi 10—20 mg l^{-1} ja johtokyky (nyt käytetyillä lannoitteilla) 0,5—0,8 mS cm^{-1} välillä keskimmäisen lannoitustason lukemia noudattaen.

Tässä tutkimuksessa taimia lannoitettiin

Suomessa taimitarhoilla yleisesti käytettävillä lannoitteilla. Taimien ravinnepitoisuuksista ja -määristä sekä kasvualustan ravinnepitoisuuksista päätellen lannoitus oli liian fosfori—kaliumpitoista. Ravinnesuhteet annetuissa lannoitteissa olivat keskimäärin N 100 : P 45 : K 180. Ingestadin (1979) suosittelema suhde männyntaimille on N 100 : P 13 : K 65. Tosin Scarrat (1986) tutkittuaan useiden erilaisten lannoitteiden vaikutuksia banksin männyn *(Pinus banksiana* Lamb.) taimiin toteaa, että lannoitteiden ravinnesuhteilla ei ollut vaikutusta ainakaan taimien ensimmäisen kesän kasvuun eikä ravinnepitoisuuteen. Samantapaiseen tulokseen päätyivät Troeng & Ackzell (1988) yksivuotisella männyllä. Lannoitteiden korkean PK-pitoisuuden merkitystä taimille ei voida arvioida tämän tutkimuksen perusteella, mutta esim. liian korkean kaliumpitoisuuden on havaittu heikentävän kaksivuotisten koivun taimien kylmänkestävyyttä (Jozefek 1989).

Taimien toisen kasvukauden ravinnemäärän lisäystä verrattiin lannoitteina annettujen ravinteiden määrään. Ravinnemäärän lisäys laskettiin tämän tutkimuksen taimien kuivaainelisäyksen ja neulasten ravinnepitoisuuden sekä Richardsin ym. (1973) esittämien männyn 2/0 taimien eri osien ravinnesuhteiden perusteella (kuva 6). Tarkkaan ottaen laskelma hieman aliarvioi taimien ottamaa ravinnemäärää, koska huuhtoutumisen, kuolleiden juurien tai neulasten mukana maahan palanneita ravinteita ei huomioitu. Laskelman mukaan taimet ottivat toisena kasvukesänä typpeä noin 40 %, fosforia 15 % ja kaliumia 20 % annetusta ravinnemäärästä. Taimien ottama ravinnemäärä kasvoi suoraviivaisesti suhteessa annettuihin ravinteisiin. Troengin (1988a) mukaan ensimmäisenä kasvukautena turpeessa kasvatetut männyntaimet saavuttivat parhaan kasvun 25—30 g m^{-2}:n typpilannoituksella, josta taimet käyttivät puolet.

Taimien jälkikasvuisuutta ja neulasten pituuskasvua voidaan ilmeisesti vähentää toisen kasvukauden aikana vähentämällä lannoitusta neulasten voimakkaimman kasvun aikaan ja jatkamalla sitä riskialttiin jakson jälkeen elokuussa. Männynversosyövälle altistuminen, jonka epäillään osittain johtuvan liian runsaan lannoituksen aiheuttamasta aktiivin kasvuperiodin pidentymisestä (Kurkela 1983), saattaisi näin myös vähentyä. Toisaalta lannoituksen jatkaminen elokuussa saattaisi parantaa taimien kylmänkestävyyttä,



Kuva 6. Taimien toisen kasvukauden aikaisen ravinnemäärän (N, P, K) lisääntymisen riippuvuus lannoitteina annetuista ravinteista. Juurten ja rangan ravinnepitoisuudet on laskettu Richardsin ym. (1973) esittämien 2/0 männyn taimen eri osien ravinnesuhteiden perusteella. Kuvaan on yhdistetty kolmen viimeisen näytteenottokerran havainnot.

Fig. 6. The increase of seedling nutrient content (N, P, K) vs. applied nutrients during the second growing season in the nursery. Nutrient concentrations of stem and roots were estimated on the basis of nutrient relations of needles, stem and roots of 2/0 pine seedlings described by Richards et al. (1973). Observations of three last sampling dates were combined in the data.

jonka käytännön taimikasvatuksessa on havaittu heikentyneen taimien liian alhaisen ravinnepitoisuuden vuoksi (Troeng 1989).

Taimien istutuksen jälkeinen menestyminen

Vain 4 % taimista kuoli neljän ensimmäisen vuoden aikana. Erot kuolleisuudessa eri käsittelyjen välillä aiheutuivat osin versosyövästä, jota istutuksen jälkeen ilmeni eniten keskimmäisellä lannoitustasolla. Yleensä tulokset lannoituksen vaikutuksesta taimien eloonjäämiseen ovat olleet ristiriitaisia, mikä johtunee lannoituksen erilaisesta vaikutuksesta taimien eri tuhojen kestävyyteen sekä erilaisten tuhojen sattumanvaraisuudesta metsänviljelykokeissa (esim. Duryea & McClain 1984).

Taimien istutuksen jälkeisen pituuskasvun on yleensä todettu olevan sitä parempi mitä korkeampi on neulasten typpipitoisuus (esim. Duryea & McClain 1984) ja mitä kookkaampia (Thompson 1985) taimet ovat istutettaessa. Taimen typpipitoisuuden ja kuivamassan yhdistävän tunnuksen, typpimäärän, onkin todettu kuvastavan hyvin taimien istutuksen jälkeistä kasvupotentiaalia (Landis

1985). Myös tässä tutkimuksessa taimet kasvoivat istutuskesänä sitä paremmin mitä enemmän niitä oli tarhalla lannoitettu ja mitä suurempi oli taimien typpimäärä istutettaessa. Kuitenkin myöhemmin voimakkaimmin lannoitetuilla taimilla pituuskehitys jäi heikommaksi kuin keskimmäisen lannoitustason taimilla.

Kaikissa istutetuissa taimissa näkyivät selvät istutusshokin piirteet: nuoret neulaset olivat lyhyitä sekä kellertäviä ja niiden pääravinnepitoisuudet laskivat jopa alle puoleen tarhavaiheen pitoisuuksista jo istutuskesänä. Neulasten typpipitoisuus laski sitä enemmän mitä voimakkaammin niitä oli tarhalla lannoitettu. Ravinnepitoisuuserot eri käsittelyjen välillä tasoittuivat jo ensimmäisenä kesänä. Van den Driesschen (1984) mukaan taimitarhalannoituksesta aiheutuneet ravinnepitoisuuserot tasoittuvat kolmen vuoden kuluessa istutuksen jälkeen.

Neulasten ravinnepitoisuuden voimakas lasku istutuskesänä selittyy ravinteiden siirtymisellä uuteen kasvuun (Fife & Nambiar 1984) tilanteessa, jolloin taimi ei saa riittävästi ravinteita maasta. Ravinnemäärän väheneminen neulasissa puolestaan viittaa ravinteiden siirtymiseen myös juuristoon (Troeng 1988b). Voimakkaimmin lannoitettujen taimien juuri/verso-suhteen suuri lisäys tukee tätä olettamusta.

Istutusshokki liitetään tavallisesti taimien veden puutteeseen ja sitä seuraavaan haihdunnan pienenemiseen (esim. Hallman ym. 1978). Veden puutteeseen voivat johtaa monet tekijät kuten taimien juurten kuivuminen ennen istutusta, kuiva kasvualusta, voimakkaasti haihduttavat olosuhteet, kasvualustan alhainen lämpötila (Rikala & Puttonen 1988) tai maan liiallinen tiivistyminen (Omi 1986).

Astiakokeessa kasvualustan kosteudella ei ollut vaikutusta taimissa ilmenneisiin istutusshokin oireisiin. Ilmeisesti kuivimmassakin kasvualustassa vettä oli saatavilla riittävästi. Paakkutaimien juuret eivät kärsineet kuivuudesta myöskään ennen istutusta ja ainakaan astiakokeessa ei kasvualustan lämpötila voinut olla veden saantia rajoittava tekijä. Taimien voimakas kasvu kaikissa kosteuskäsittelyissä ei myöskään tue olettamusta veden puutteesta. Onkin ilmeistä, että taimet kärsivät ravinteiden puutteesta molemmissa kokeissa. Maastokokeessa kasvualusta oli ravinnerikkaampi kuin astiakokeessa, mikä selittänee sen, että istutusshokin oireet, neulasten lyhyys ja kellertävyys sekä neulasten alhainen ravinnepitoisuus, eivät olleet niin voimakkaita kuin astiakokeessa.

Istutusshokin oireet molemmissa kokeissa tukevat ajatusta, että ravinneköyhässä maassa paakkutaimet voivat kärsiä ravinteiden puutetta jo istutuskesänä. Taimitarhavaiheen "ylilannoitus" ei vähentänyt taimien ravinnepuutetta. Troengin (1988b) mukaan männyn istutuksen jälkeinen kehitys onkin, toisin kuin kuusella, riippuvainen istutuspaikan ravinneoloista, eikä niinkään taimien ravinnepitoisuudesta istutettaessa. Munson & Timmer (1989a, 1989b) osoittivat, että myös douglaskuusen taimien istutuksen jälkeisen ensimmäisen ja toisen vuoden kasvu oli voimakkaasti riippuvainen uudistusalan ominaisuuksista.

Ajatus, että männyntaimet tulisi sopeuttaa jo taimitarhalla niukkoihin ravinneolosuhteisiin, jotta ne mukautuisivat nopeasti istutuspaikalle (Troeng & Ackzell 1988), saa jonkin verran tukea tämän tutkimuksen taimien shokkioireista; voimakkaimmin lannoitetuissa taimissa ravinnepitoisuus laski eniten istutuksen jälkeen. Toisaalta pituuskehityksessä vähiten lannoitetut taimet olivat jääneet hieman jälkeen muista taimista neljännen istutuksen jälkeisen kasvukauden loppuun mennessä.

KIRJALLISUUS

Alden, T. 1971. Influence of CO_2, moisture and nutrients on the formation of Lammas growth and prolepsis in seedlings of Pinus silvestris L. Studia Forestalia Suecica 93. 21 s.

Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. 1982. Food Products. Analysis of Fish and Seafood - Dry Ashing Procedure FP-5. Perkin Elmer, Norwalk, Connecticut, U.S.A.

Anttila, T. & Lähde, E. 1977. Lannoituksen vaikutus paperikennoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa. Summary: Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery. Folia Forestalia 314. 19 s.

Armson, K. & Sadreika, V. 1974. Forest tree nursery soil management and related practices. Ministry of Natural Resources. Ontario. 178 s.

Aronsson, A. & Elowson, S. 1980. Effects of irrigation and fertilization on mineral nutrients in Scots pine needles. Teoksessa: Persson, T. (toim.). Structure and function of northern coniferous forests — An ecosystem study. Ecol. Bull. Stockholm. 32: 219—228.

Bohlin, C. 1988. Vattnet — en viktig produktionsfaktor. Skogshögskolan, Garpenberg. Plantnytt 1988: 2. 4 s.

Driessche, R. van den. 1984. Relationship between spacing and nitrogen fertilization of seedlings in the nursery, seedling mineral nutrition, and outplanting performance. Canadian Journal of Forest Research 18: 172—180.

Duryea, M.L. 1984. Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D (toim.). Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague—Boston—Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 143—164.

— & McClain, K. 1984. Altering seedling physiology to improve reforestation success. Teoksessa: Duryea, M. & Brown, G (toim.). Seedling physiology and reforestation success. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht—Boston—London. s. 77—114.

Fife, D. & Nambiar, E. 1984. Movements of nutrients in radiata pine needles in relation to the growth of shoots. Annals of Botany 54: 303—314.

Hallman, E., Hari, P., Räsänen, P.K. & Smolander, H. 1978. The effect of planting shock in the transpiration, photosynthesis and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun. Acta Forestalia Fennica 161. 26 s.

Helimäki, U. 1967. Taulukoita ja karttoja Suomen sadeoloista kaudelta 1931—1960. Tables and maps of precipitation in Finland, 1931—1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 66 osa 2—1966. Ilmatieteellinen keskuslaitos. 22 s.

Horwitz, W. (toim.). 1965. Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists. Association of official agricultural chemists, Washington. 965 s.

Ingestad, T. 1962. Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions. Meddelanden från Statens Skogforskningsinstitut 51(7). 150 s.

— 1977. Nitrogen and plant growth; Maximum efficiency of nitrogen fertilizers. Ambio 6: 146—151.

— 1979. Mineral nutrient requirements of Pinus silvestris and Picea abies seedlings. Physiologia Plantarum 45: 373—380.

Jarva, M. & Tervahauta, A. 1987. Chemical analysis methods used in the ILME. Posteri. Symposium of the Finnish Research Project on Acidification (HAPRO). 21—24.4.1987. Ympäristöministeriön julkaisu, Sarja A 64. s. 74.

Jozefek, H.J. 1989. The effect of varying levels of potassium on frost resistance of birch seedlings. Tiivistelmä: Eri kaliumpitoisuuksien vaikutus koivun taimien pakkaskestävyyteen. Silva Fennica 23(1): 21—31.

Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931—1960. Tables and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 65 osa 1a—1965. Ilmatieteellinen keskuslaitos. 42 s.

Kurkela, T. 1983. Mineraaliravinteet ja metsän tuhot. Teoksessa: Raitio, H. (toim.) Metsäpuiden fysiologiaa I. Ravinnetalouden perusteet. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 39: 189—200.

Landis, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.). Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. s. 29—48.

Langlois, C., Godbout, L. & Fortin J. 1983. Seasonal variation of growth and development of the roots of five second year conifer species in the nursery. Plant and Soil 71: 55—62.

Lappi, J. & Smolander, H. 1983. Aineiston kuvallisen ja tilastollisen analyysin ohjelma. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 118. 38 s.

Lavender, D.P. 1984. Plant physiology and nursery environment: Interactions affecting seedling growth. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.). Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague—Boston—Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 133—141.

Munson, A.D. & Timmer, V.R. 1989a. Site-specific growth and nutrition of planted Picea mariana in the Ontario Clay Belt. I. Early performance. Canadian Journal of Forest Research 19: 162—170.

— 1989b. Site-specific growth and nutrition of planted Picea mariana in the Ontario Clay Belt. II. Effects of nitrogen fertilization. Canadian Journal of Forest Research 19: 171—178.

Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 1984. Ed. S. Williams. Association of official Analytical Chemists, Inc. Arlington. USA.

Omi, S.K. 1986. Soil compaction: Effects on seedling growth. Proceedings: Intermountain Nurseryman's Association Meeting. August 13—15,1985. Fort Collins, Colorado. USDA Forest Service. General Technical Report RM—125: 12—23.

Parviainen, J. 1984. Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla. Summary: The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different days. Folia Forestalia 593. 35 s.

Puustjärvi, V. 1969. Fixing peat standards. Peat and Plant News 2(1): 3—8.

— 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Turveteollisuusliitto r.y., Helsinki. Julkaisu 1. 172 s.

— 1977. Loss in organic matter from peat substrate during greenhouse cultivation. Peat & Plant Yearbook 1976—77: 12—23.

Richards, N.A., Leaf, A.L., & Bickelhaupt, D.H. 1973. Growth and nutrient uptake of coniferous seedlings: comparison among 10 species at various seedbed densities. Plant and Soil 38: 125—143.

Rikala, R. 1982. Gödlingens och bevattningens inverkan på tallplantornas kvalitet. Summary: The effect of fertilization and irrigation on the quality of pine seedlings. Teoksessa: Puttonen, P. (toim.). Skogsplantornas vitalitet och kvalitet. Nordiskt symposium Hyytiälä 12.—13. januari 1982. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 36: 111—122.

— 1986. Lannoituksen vaikutus männyn paakkutaimien kehittymiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 221. 21 s.

— & Puttonen, P. 1988. Maan lämpötilan vaikutus

kuivuusrasitukseen perustuvassa taimien laatutestissä. Abstract: Effect of soil temperature in a drought exposure based seedling quality test. Silva Fennica 22(4): 273—281.
— & Westman C.J. 1979. Markförbättring, gödsling och bevattning i Finländska skogsträdsplantskolor. Årskrift for Nordiske Skogplanteskoler 1978: 29—42.
Rudolph, T.D. 1964. Lammas growth and prolepsis in Jack pine in the Lake States. Forest Science. Monograph 6. 70 s.
Scarrat, J. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of Jack pine container stock. Great Lakes Forestry Centre. Canadian Forestry Service. Information report O-X-377. 21 s.
Seppälä, J. 1981. Kasteluveden puhdistusmahdollisuudet kasvihuoneviljelyksillä. Puutarhakalenteri 1982: 346—354.
Thompson, S. 1976. Some observations on the shoot growth of pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 6: 341—347.
Thompson, B. 1985. Seedling morphological evaluation — What can you tell by looking. Teoksessa: Duryea, M. (toim.). Evaluating seedling quality Principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University, Corvallis. s. 59—71.
Troeng, E. 1988a. Växtnäringstyrda plantor. I. Tillväxt i plantskolan. Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Stencil 42. 18 s.
— 1988b. Växtnäringstyrda plantor. II. Tillväxt i fält. Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Stencil 45. 15 s.
— 1989. Gödsling i plantskolan och etablering i fält. Sveriges lantbruksuniversitet. Biologi och skogsskötsel. Skogsfakta 62. 4 s.
— & Ackzell, L. 1988. Growth regulation of Scots pine seedlings with different fertilizer compositions and regimes. New Forests 2: 119—130.
Viljavuustutkimuksen tulkinta metsäpuiden taimituotannossa. 1988. Viljavuuspalvelu Oy. Moniste 11 s.

Total of 47 references

SUMMARY

Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year-old containerized Scots pine seedlings

The effect of fertilization on the development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings grown on two commercial nursery peats was studied. Seedlings were grown in paper pots (FS 608; 196 cm^3/pot, 80 pots/unit, 333 pots m^{-2}) filled with two nursery peats, Vapo-400 Tree seedling peat or Sato ST-400, PP6. The growing and fertilizing schedule for the first year (1984) was similar for all seedlings (Table 1). In the beginning of the second growing season (1985) the fertilization was differentiated into three levels according to the electrical conductivity (EC) of peat water extract (Table 2). Each treatment (peat × fertilization-combination) consisted of 30 seedling trays with 80 seedlings in each tray.

Fertilizers were applied 1—5 times a week in irrigation water with 0.1—0.4 % concentration depending on the EC of the substrate and need of watering. In the beginning of the growing season granular fertilizers were also used in order to increase the EC to the targeted level; this was achieved in three weeks after start of fertilization (Fig. 1). The fertilizers and nutrients given during the second year are shown in Table 3 and Fig. 2.

The seedlings were watered according to nursery practice and the moisture content of the peat substrate was checked once a week by watering the seedling trays to the targeted weight (8.0—9.0 kg, moisture content 39—46 % in volume) weekly. Because of a rainy autumn, the weight of seedling units increased to 13 kg (65 % in volume) at the end of September.

EC and pH of the peat substrate were measured weekly and the nutrient concentration of peat water extract was measured 3 times during the first growing season and 6 times in the second. Nutrient concentration of needles was analyzed once at the end of the first growing season and 7 times during the second growing season. Morphological properties (10 seedlings/treatment) were measured 6 times during the second growing season. In addition mortality, damages, and number of lammas shoots were recorded from all seedlings and the heights of 100 seedlings/treatment were measured at the end of the second growing season.

Outplanting performance of seedlings was tested both in the pot experiment and the field test. In the pot experiment seedlings grown in Vapo peat were planted on May 15, 1986 in plastic boxes filled with fine sand, and were watered weekly to the targeted moisture contents (75 %, 50 %, and 25 % of water capacity). Fertilization-moisture combinations had 4 replications with 8 seedlings in each box. The experiment was conducted under a plastic cover to prevent the effect of rain. Morphological properties, dry weights and nutrient concentrations of needles were measured at the end of October.

The field experiment was established on an abandoned agricultural loamy field. The experimental design consisted of 8 blocks, each block contained 6 randomised treatment rows with 20 seedlings in each row (960 seedlings in total). The height and mortality of seedlings were measured in four autumns after outplanting. The length of two needle fascicles from the terminal shoots of 1986 and 1987 from each seedling were measured and nutrient concentrations of needles of 1987 shoots were determined.

During the first growing season S-concentration of peat water extract was much higher in Sato peat than in Vapo peat (Table 4). During the second growing season

the differences between peats were very small. Therefore the measurements of two peat types were combined (Fig. 2). Macro nutrient concentration of needles decreased from the first autumn to the next spring by about 10—20 %. In the second growing period N- and P-concentrations decreased in spite of fertilization during the most intensive shoot and needle elongation, however, concentrations started to increase again during August. This decrease did not occur with potassium. The estimated nutrient uptake of seedlings during the second growing period was about 40 % of applied N, 15 % of applied P and 20 % of applied K (Fig. 6).

After the first growing season the height of seedlings was about 4 cm. During the second growing season fertilization had a substantial affect on needle growth (Fig. 3). Growth of roots continued late into the autumn and was clearly increased by fertilization. Although the effect of fertilization on shoot growth was small, it increased the number of lammas shoots significantly (Fig. 4).

There were heavy symptoms of planting check in all seedlings; short and yellowish needles caused by a decrease in nutrient concentration to half that of the nursery level. The mortality rate of seedlings in the field experiment was, however, only 4 % during the four years and no significant difference between treatments was seen. Peat substrates had no significant effect on the height development of seedlings after planting. In the first year after outplanting seedlings grew better the more fertilizer they were given in the nursery. Later on the most intensively fertilized seedlings grew less than medium fertilized seedlings, but the difference was not significant. Four years after planting seedlings given the lowest fertilizer treatment were still significantly shorter than seedlings from other treatments (Fig. 5).

In the pot experiment there was no significant difference in morphological properties of seedlings between moisture treatments. In the pot experiment as well as in the field experiment there were severe symptoms of planting check in all seedlings during the first year. Needles were short (Table 6) and nutrient concentration of needles decreased in the first year by as much as 50 % from the values of the previous autumn. The suggested explanation for this was that of the growth dilution effect and also nutrient transfer to roots. The greater decrease in nutrient content of needles was seen in those treatments with the highest fertilizer level in the nursery (Table 7). The effect of nutrient status of Scots pine seedlings on the acclimation process after planting is discussed.

Liite 1. Tutkimuksessa käytettyjen lannoitteiden alkuainepitoisuudet.
Appendix 1. *Nutrient concentrations of fertilizers.*

Ravinne *Nutrient*	Lannoitteet — *Fertilizers*						
	Kloorivapaa Y-lannos	Kalkki-salpietari	Kekkilä Superex			Turpeen peruslannoite	St-taso-lannoite
			4	5	9	4	6
				%			
tot-N	7,0	15,5	16,6	10,9	19,4	12,0	15,0
NO_3-N	0,5	14,1	7,5	7,5	7,2	6,5	
P	10,5	—	4,0	4,0	5,3	9,0	5,3
K	11,6	—	25,3	25,3	20,0	18,0	11,0
Ca	—	20,0	—	—	—	—	4,0
Mg	2,5	0,2	0,2	1,5	0,2	1,5	—
S	10,7	—	0,3	2,0	0,3	2,0	5,0
				ppm			
Fe	1000	—	1800	1800	1800	3500	6500
Mn	10000	—	970	970	970	1700	3000
B	1500	—	270	270	270	500	600
Zn	—	—	230	230	230	700	300
Cu	4000	—	140	140	140	3300	7000
Mo	—	—	20	20	20	200	
Co	—	—	10	10	10		

VI

FOLIA FORESTALIA 794

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992

Risto Rikala

TAIMITARHALANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYNTAIMIEN JÄLKIKASVUUN JA ISTUTUKSEN JÄLKEISEEN MENESTYMISEEN

Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings

Approved on 24.8.1992

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 3
2 AINEISTO JA MENETELMÄT 4
2.1 Taimien kasvatus ja mittaus 4
2.2 Maastokokeet 6
2.3 Aineiston käsittely 7
3 TULOKSET 7
3.1 Taimien kehittyminen taimitarhalla 7
3.2 Taimien menestyminen maastokokeissa 10
4 TULOSTEN TARKASTELU 14
KIRJALLISUUS – *REFERENCES* 16
SUMMARY 18

Rikala, R. 1992. Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen. Summary: Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings. Folia Forestalia 794. 19 p.

Lannoituksen vaikutusta männyn syyskoulittujen, kolmivuotisten, paljasjuuristen taimien jälkikasvuun, ravinnepitoisuuteen ja morfologiaan tutkittiin kahdessa taimitarhakokeessa peräkkäisinä vuosina. Molemmissa kokeissa oli käsittelyinä kolmitasoinen kasvukauden aikainen hoitolannoitus, jonka lisäksi ensimmäisessä kokeessa oli syyslannoituskäsittely ja toisessa kolmitasoinen peruslannoitus. Kokeissa kasvatettujen jälkikasvuisten ja vertailutaimien maastomenestymistä seurattiin istutuksen jälkeen 7–8 vuoden ajan. Hoitolannoitus kasvatti taimien, erityisesti neulasten, kuivamassaa ja neulasten typpipitoisuutta sekä lisäsi taimien jälkikasvua. Koulintaa edeltänyt peruslannoitus eikä myöskään syyslannoitus vaikuttanut mitattuihin tunnuksiin. Taimien jälkikasvu korreloi voimakkaasti neulasten typpipitoisuuden sekä neulasten pituuden kanssa. Jälkikasvuun vaikuttavat kuitenkin myös monet muut tekijät niin, ettei yksinomaan lannoitusta ohjaamalla ole mahdollista välttää jälkikasvua. Jälkikasvuisten taimien elossaolo ja pituuskehitys maastokokeissa olivat hieman heikompia kuin vertailutaimilla. Kasvuero kuitenkin selittyi vertailutaimien suuremmalla koolla istutusvaiheessa. Jälkikasvuisina istutetuissa taimissa oli alussa myös ulkoisia muotovikoja enemmän kuin vertailutaimissa. Tämäkin ero lähes hävisi 8 vuoden kuluessa. Syy jälkikasvuisten taimien vertailutaimia hieman suurempaan kuolleisuuteen jäi epäselväksi. Tulosten perusteella ei voida suositella jälkikasvun ottamista hylkäysperusteeksi taimien lajittelussa.

Effect of fertilization on the incidence of summer shoots, nutrient concentration and morphology of bare-root pine seedlings was studied in two nursery experiments during two successive years. In both experiments three levels of top-dressing fertilization were studied, as well as autumn fertilization and maintenance dressing before transplanting. Seedlings grown in the two nursery experiments were planted and their performance was monitored 7–8 years after planting. With increasing top-dressing, the dry weight of the seedlings, specially that of the needles, nitrogen concentration in needles, and incidence of summer shoots increased. The proportion of seedlings with summer shoots had a strong positive correlation with nitrogen concentration of the needles and with the length of the needles. Summer shoots cannot, however, be eliminated only by decreasing fertilization, because many other factors besides nutrients affect the incidence of summer shoots. Neither maintenance dressing nor autumn fertilization affected seedling characteristics. Survival and growth were slightly worse for seedlings with summer shoots than for control seedlings. Differences in growth were, however, explained by the greater planting height of the control seedlings. During the first few years after planting seedlings with summer shoots had more morphological deformations than control seedlings did. This difference also decreased and almost disappeared during the 8 years of the experiments. The reason for the higher mortality of summer shoot seedlings remained unclear. These results do not, however, provide support for the practice of discarding seedlings with summer shoots when planting material is sorted.

Keywords: *Pinus sylvestris*, lammas shoots, prolepsis, nutrition, nurseries.
FDC 174.7 *Pinus sylvestris* + 232.2

Author's address: Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland.

ISBN 951-40-1237-2
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

1 Johdanto

Männyllä (*Pinus sylvestris* L.) kuten useimmilla kylmän ja viileän ilmaston havupuilla vuotuinen pituuskasvu ensimmäisen vuoden jälkeen määräytyy lähes kokonaan silmun muodostumisen yhteydessä pituuskasvua edeltävänä kesänä. Tällaisella ennaltamääräytyneellä kasvulla tarkoitetaan silmussa jo valmiina olevien, aikaisemmin muodostuneiden kääpiöversojen nivelvälien pituuskasvua lepokauden jälkeen (Lanner 1976). Mänty kasvaa pituutta lyhyen ajanjakson, yleensä toukokuun alkupuolelta kesäkuun lopulle (Raulo & Leikola 1974). Joinakin vuosina männyt saattavat kuitenkin lähteä uudelleen kasvuun keskikesän jälkeen. Tätä kasvua kutsutaan jälkikasvuksi, joka on itse asiassa alkukesän aikana muodostuneen silmun ennenaikaista pituuskasvua (Rudolph 1964).

Jälkikasvu luokitellaan yleensä kahteen päätyyppiin: päätesilmusta alkavaan ja sivusilmusta alkavaan jälkikasvuun (Rudolph 1964). Lisäksi tavataan jälkikasvua, jossa molemmat tyypit ovat yhdistyneenä. Joskus päätesilmu voi venyä, mutta neulaset eivät kehity. Tätä kutsutaan "pitkäksi silmuksi". Varsinaisessa jälkikasvussa myös neulaset ovat kasvaneet, mutta ne ovat tavallisesti erittäin tiheässä ja selvästi vaaleampia kuin kesän normaalissa kasvaimissa (Rudolph 1964). Tässä tutkimuksessa sekä pääettä sivusilmuista puhjenneesta uudesta kasvusta käytetään nimeä jälkikasvu ja haluttaessa erottaa eri tyypit käytetään nimityksiä päätesilmun ja sivusilmun jälkikasvu.

Rudolph (1964) on tutkimuksessaan banksinmännyn (*Pinus banksiana* Lamb.) jälkikasvusta laatinut katsauksen tutkimuksista, joissa on selvitetty jälkikasvua aiheuttavia tekijöitä useilla puulajeilla. Alkuperien siirtokokeissa on päivänpituuden todettu vaikuttavan jälkikasvun esiintymiseen siten, että etelämpää tuoduissa taimissa, siirrettynä pidemmän päivän olosuhteisiin, esiintyy usein jälkikasvua (Rudolph 1964). Myös Vaartajan (1957) mukaan useilla puulajeilla erityisesti sivusilmujen jälkikasvu yleistyy siirrettäessä taimet pitempään valojaksoon. Päivänpituuden vaikutus sekä useat alkuperätutkimukset (esim. Ehrenberg 1963, 1975, Rudolph 1964) viittaavat siihen, että taipumus jälkikasvuun on voimakkaasti perimään kytkeytyvä ominaisuus, jonka esiintyminen riippuu ympäristötekijöistä.

Ympäristötekijöistä kasvualustan (ravinteisuus ja kosteus) ja sään (sade ja lämpötila) on todettu vaikuttavan puiden jälkikasvujen esiintymiseen (Rudolph 1964). Aldén (1971) havaitsi, että kaksivuotisilla männyntaimilla ensimmäisen kasvukauden epäsuotuisat kasvuolot yhdessä seuraavan vuoden hyvien kasvuolojen kanssa saivat aikaan runsaasti jälkikasvua. Jälkikasvujen esiintyminen korreloi positiivisesti kasvualustan kosteuden ja ravinteiden sekä kohotetun ilman hiilidioksidipitoisuuden kanssa saman kasvukauden aikana. Troengin & Ackzellin (1990) mukaan hiilidioksidilannoitus lisäsi yksivuotisten kontortan (*Pinus contorta* Dougl.) taimien, mutta ei männyn eikä kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) taimien jälkikasvua. Männyntaimien koulinta-ajankohdan on myös todettu vaikuttavan seuraavana kesänä jälkikasvuisten taimien osuuteen (Parviainen & Konttinen 1978). Erityisesti varhainen syyskoulinta lisäsi jälkikasvua. Avomaalla jälkikasvuun vaikuttavista ympäristötekijöistä voidaan säädellä käytännössä vain kasvualustan ravinnepitoisuutta ja osittain kosteutta. Lannoituksen vaikutuksesta jälkikasvun esiintymiseen on runsaasti yleisiä mainintoja (esim. Rudolph 1964, Ritchie 1984), mutta männyn osalta niukasti tutkimuksia (esim. Aldén 1971).

Istutuksen jälkeen jälkikasvun, erityisesti sivusilmuista puhjenneena, on todettu heikentävän taimien muotoa aiheuttamalla sekä lyhyitä oksakiehkuravälejä että haaroittumista (Carvell 1956, Ehrenberg 1963, Rudolph 1964). On myös havaittu, että sitkan kuusen (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) ja douglaskuusen (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) jälkikasvuversot ovat herkkiä syyshalloille, koska ne karaistuvat myöhemmin kuin varsinaiset pituuskasvuversot (Rudolph 1964, Duryea 1984). Lavender (1984) ehdottaakin jälkikasvuiset taimet hylättäviksi taimilajittelussa, koska ne voivat olla alttiimpia paitsi pakkasille myös muille rasituksille noston, kuljetuksen, varastoinnin ja istutuksen aikana. Vaikka jälkikasvu ei Suomessa ole ollut hylkäysperuste myyntikelpoisia taimia lajiteltaessa (Maa- ja metsätalousministeriön päätös n:o 1036/87), on taimien kasvatuksessa kuitenkin pyritty välttämään jälkikasvua.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää voidaanko lannoituksella vaikuttaa jälkikasvujen esiintymiseen koulituissa männyntaimissa taimitar-

halla ja miten jälkikasvuiset taimet menestyvät normaaliin taimiin verrattuna istutuksen jälkeen.

Tutkimus tehtiin Itä-Savon metsälautakunnan aloitteesta yhteistyössä Syrjälän taimitarhan kanssa. Koejärjestelyn aiheuttamat erityistoimenpiteet sekä ravinneanalyysit kustansi pääosin Taimi-Tapio. Ritva Pitkänen, Sylvi Ossi ja Marja-Leena Jalkanen Suonenjoen tutkimusasemalta mittasivat ja tallensivat näytetaimi- ja maastokoeaineistot. Käsikirjoitukseen tutustuivat hyviä parannusehdotuksia tehden työn alkuvaiheessa Hannu Kukkonen, Pasi Puttonen, Aarne Ruha ja Heikki Smolander sekä tarkastusvaiheessa Heikki Hänninen, Eino Mälkönen ja Hannu Raitio. Englanninkielisen tekstin tarkasti Joann von Weissenberg. Kiitän kaikkia työn valmistumiseen vaikuttaneita henkilöitä ja erityisesti Aarne Ruhaa sekä Syrjälän taimitarhan henkilökuntaa hyvästä yhteistyöstä.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Taimien kasvatus ja mittaus

Taimitarhakoe 1 (hoito- ja syyslannoituskoe)

Taimet kasvatettiin Itä-Savon metsälautakunnan Syrjälän taimitarhalla (P 61°53', I 29°11', 90 m mpy). Kasvualusta oli multavaa hiekkamoreenia, joka peruslannoitettiin kloorivapaalla Y-lannoksella (500 kg ha $^{-1}$) ja superfosfaatilla (500 kg ha $^{-1}$). Kaksivuotiset männyntaimet (2A, keskipituus 9 cm, karistamotunnus: T3-78-59, siemenviljelys n:o 53) koulittiin 14.7.1981 (koulintatiheys 90 tainta m $^{-2}$). Seuraavana keväänä koko koulinta-alalle levitettiin hoitolannoituksena kloorivapaata Y-lannosta (7-11-12) 400 kg ha $^{-1}$. Lannoituskoetta varten rajattiin 15 koulintapenkin leveydeltä alue, joka jaettiin kolmeen koealaan (á 9 m × 60 m) hoitolannoituskäsittelyjä varten. Kesäkuun alusta hoitolannoitus eriytettiin kolmelle tasolle:

(1) 1.6. ja 6.7. kloorivapaata Y-lannosta 100 kg ha $^{-1}$,
(2) 1.6. ja 6.7. kloorivapaata Y-lannosta 250 kg ha $^{-1}$ ja
(3) 1.6. ja 10.6. oulunsalpietaria (27,5-0-0) 200 kg ha $^{-1}$ ja 150 kg ha $^{-1}$ sekä 6.7. kloorivapaata Y-lannosta 250 kg ha $^{-1}$.

Taso 2 vastasi tarhan normaalia lannoitusta. Hoitolannoitetut koealat jaettiin edelleen syyslannoitusta varten kahteen osaan, joista toiselle levitettiin (31.8.) 200 kg ha $^{-1}$ puutarhan Y-lannos 2:ta (7-5-15) ja toinen jätettiin vertailuksi. Käsittelyjä ei toistettu. Lannoituksissa annetut ravinnemäärät on esitetty taulukossa 1.

Hoitolannoituksen jälkeen (16.7.1982) koealoilta otettiin maanäytteet (10 osanäytteen kokoomanäyte/koeala) ja 1.10.1982 jokaiselta koealalta nostettiin systemaattisella otannalla 90 näytetainta. Taimista mitattiin verson pituus, viimeisen vuosikasvaimen pituus, neulasten pituus

Taulukko 1. Perus- ja hoitolannoituksena annetut päiävinteet taimitarhakokeessa 1. Plusmerkin jälkeen sulkeissa lisälannoitus, joka annettiin vain syyslannoituskoealoille.

Table 1. Macro nutrients applied as maintenance dressing and top-dressing in Nursery Expt. 1. After the plus sign are additional doses which were applied only to autumn fertilization plots.

Lannoitus *Fertilization*	Typpi *Nitrogen*	Fosfori *Phosphorus*	Kalium *Potassium*
		kg ha $^{-1}$	
Peruslannoitus – *Maintenance dressing*			
	35	100	60
Hoitolannoitus – *Top-dressing*			
1	42 + 14	66 + 10	72 + 30
2	63 + 14	99 + 10	108 + 30
3	142 + 14	72 + 10	78 + 30

kahdesta neulasparista latvakasvaimen puolivälistä ja juurenniskan läpimitta sekä punnittiin neulasten, rangan ja juuriston kuivamassat (70 °C, 2 vrk). Lisäksi jokaiselta koealalta luettiin kolmesta koulintapenkistä (á 5 riviä) yhden taimirivin (noin 1800 tainta/käsittely) jälkikasvuisten taimien osuus. Maanäytteistä analysoitiin liukoinen typpi, helppoliukoinen fosfori sekä vaihtuvat kalium ja kalsium (Kurki 1982) ja neulasnäytteistä typen (Kjeldahl-menetelmä), fosforin (Horwitz 1965) ja kaliumin, kalsiumin sekä magnesiumin (Analytical methods... 1982) pitoisuudet Viljavuuspalvelu Oy:ssä.

Voimakkain hoitolannoitus kaksinkertaisti kasvualustan liukoisen typen pitoisuuden (60 mg l $^{-1}$) alimpaan tasoon verrattuna (28 mg l $^{-1}$) ja nosti kolmanneksella kaliumpitoisuutta (88 mg l $^{-1}$) alimpaan tasoon verrattuna (60 mg l $^{-1}$). Kas-

vualustan happamuuteen (pH 4,9) ja fosforipitoisuuteen (14 mg l^{-1}) lannoitus ei vaikuttanut. Myöskään mitattujen hivenravinteiden pitoisuuteen kasvualustassa ei lannoituksella ollut vaikutusta. Käsittelyjen keskiarvoina pitoisuudet (mg l^{-1}) olivat: Mg 25, Mn 30, Cu 15, Zn 36 ja B 0,5.

Taimitarhakoe 2 (perus- ja hoitolannoituskoe)

Koe perustettiin samalle alueelle kuin koe 1 satunnaistetun lohkokokeen muotoon, jossa pääkäsittelyinä oli kolme peruslannoitustasoa ja niiden sisälle arvottuina alakäsittelyinä kolme hoitolannoitustasoa. Käsittelyt esiintyivät kolmena toistona, joten koe muodostui 27 koealasta. Koeala (5 m × 6 m) muodostui kolmesta rinnakkaisesta, kuuden metrin mittaisesta koulintapenkin osasta. Peruslannoituksena (14.7.1982) koko alueelle levitettiin 300 kg ha^{-1} superfosfaattia sekä kloorivapaata Y-lannosta kolmella tasolla: 250 kg ha^{-1}, 500 kg ha^{-1} ja 750 kg ha^{-1}. Kaksivuotiaat männyntaimet (2A, pituus 12 cm, karistamotunnus: T8-78-27, alkuperä: Kerimäki) koulittiin koealoille 90 kpl m^{-2} koulintatiheydellä 22.–28.7.1982.

Hoitolannoitus aloitettiin 4.5.1983, jolloin kaikille koealoille levitettiin kloorivapaata Y-lannosta 300 kg ha^{-1}, minkä jälkeen hoitolannoitus eriytettiin kolmelle tasolle:

(1) 1.6. ja 15.6. kloorivapaata Y-lannosta 60 kg ha^{-1},
(2) 1.6. ja 15.6. kloorivapaata Y-lannosta 250 kg ha^{-1} ja
(3) 1.6. ja 15.6. oulunsalpietaria 250 kg ha^{-1} sekä 30.6. kloorivapaata Y-lannosta 300 kg ha^{-1}.

Perus- ja hoitolannoituksessa annetut ravinnemäärät on esitetty taulukossa 2. Kaikki hoitolannoitukset annettiin käsin pintalevityksenä.

Koealueelta ennen (28.6.1982) peruslannoitusta otetusta, 20 osanäytteestä koostetun kokoomanäytteen analyysin mukaan koulinta-alueen maan, multavan hiekkamoreenin, pH oli 5,9, johtoluku 0,5 (10 × mS cm^{-1}), vaihtuva kalium 83 mg l^{-1} ja helppoliukoinen fosfori 13 mg l^{-1}. Kahden viikon kuluttua viimeisestä hoitolannoituksesta (15.7.1983) otettiin jokaiselta koealalta maanäyte, joka koostui kymmenestä maakairalla otetusta osanäytteestä. Näytteistä analysoitiin johtoluku, pH, liukoinen typpi, helppoliukoinen fosfori ja vaihtuvat kalium ja kalsium. Kaikki maanäytteet analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä (Kurki 1982). Peruslannoitus ei vaikuttanut merkitsevästi kasvualustan ravinteisuuteen seuraavana, koulinnan jälkeisenä kesänä, joskin vaihtuvan kaliumin pitoisuus kasvoi hieman peruslannoituksen lisääntyessä (taulukko 3). Sen sijaan hoitolannoitus lisäsi selvästi kasvualustan johtolukua ja liukoisen typen pitoisuutta.

Taulukko 2. Perus- ja hoitolannoituksena annetut päävinteet taimitarhakokeessa 2.
Table 2. Macro nutrients applied as maintenance and top-dressings in Nursery Expt. 2.

Lannoitus *Fertilization*	Typpi *Nitrogen*	Fosfori *Phosphorus*	Kalium *Potassium*
	kg ha^{-1}		
Peruslannoitus – *Maintenance dressing*			
1	18	55	30
2	35	82	60
3	52	109	90
Hoitolannoitus – *Top-dressing*			
1	29	46	50
2	56	88	96
3	180	66	72

Syksyllä (18.10.1983) jokaiselta koealalta nostettiin näytetaimiksi systemaattisella otannalla 45 tainta eli 135 tainta/lannoituskäsittely. Taimista mitattiin samat tunnukset kuin taimitarhakokeen 1 taimista. Lisäksi jälkikasvuisista taimista luokitettiin jälkikasvun tyyppi sen syntytavan mukaan seuraavasti: 1. päätesilmusta, 2. sivusilmusta ja 3. sekä pääte- että sivusilmusta puhjenneet jälkikasvut. Jälkikasvun lyhytversoissa olevien neulasten lukumäärä laskettiin. Jälkikasvuisten taimien osuus luettiin tarkastamalla koealojen kolmen rinnakkaisen koulintapenkin keskimmäisten taimirivien kaikki taimet , jotka edustivat 20 % (480 tainta/koeala) kokeen taimimäärästä.

Säätiedot

Kokeiden tuloksia tarkasteltaessa käytetään hyväksi Ilmatieteen laitoksen kuukausikatsauksissa v. 1981–84 esitettyjä lämpötilan kuukausikeskiarvoja ja sadesummia Punkaharjun Laukonsaaren säähavaintoasemalta, joka sijaitsee noin 11 km Syrjälän taimitarhalta kaakkoon.

Taulukko 3. Kasvualustan ravinnepitoisuudet lannoituskäsittelyittäin taimitarhakokeessa 2. Näytteet kerätty 15.7.1982. Yksi arvo edustaa kolmen koealan näytteiden keskiarvoa. p-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason (P = peruslannoitus, H = hoitolannoitus). Eri käsittelyissä käytetyt ravinnemäärät on esitetty taulukossa 2.

Table 3. Nutrient concentrations of soils according to fertilization treatments in Nursery Expt. 2 on July 15, 1982. Values are the means of samples in three plots. p-values indicate the significance of the F-ratios of ANOVA (M = maintenance dressing, T = top-dressing). Nutrients applied as maintenance and top-dressings are shown in Table 2.

Peruslannoitus *Maintenance dressing*	Hoitolannoitus *Top-dressing*	Johtoluku *Electrical conductivity*	Liukoinen typpi *Soluble nitrogen*	Helppoliuk. fosfori *Easily soluble phosphorus*	Vaihtuva kalium *Exchangeable potassium*
		10 × mS cm $^{-1}$	mg l $^{-1}$		
1	1	1,0	38	8	117
	2	1,1	37	10	113
	3	2,3	79	10	107
2	1	1,0	43	9	109
	2	1,3	32	9	123
	3	2,1	83	11	122
3	1	1,0	42	11	121
	2	1,1	46	10	126
	3	2,2	68	10	137
$p_{peruslann.} - p_{maint.\,dress.}$		0,843	0,931	0,803	0,079
$p_{hoitolann.} - p_{top\text{-}dress.}$		< 0,001	< 0,001	0,780	0,593
$p_{P \times H} - p_{M \times T}$		0,641	0,192	0,774	0,476

2.2 Maastokokeet

Koealue

Taimet istutettiin taimitarhan laitaan mustikkatyypin metsämaalle, jossa humuskerros oli muokattu kivennäismaahan. Vuosina 1984–86 otetuista 6 maanäytteestä tehtyjen analyysien (Kurki 1982) mukaan kasvualusta oli erittäin multavaa, karkeaa hietaa, jonka pH oli 4,4, johtoluku 0,7 (10 × mS cm $^{-1}$), kokonaistyppi 0,40 %, helppoliukoinen fosfori 1,7 mg l $^{-1}$ sekä vaihtuva kalium 36 mg l $^{-1}$, kalsium 480 mg l $^{-1}$ ja magnesium 40 mg l $^{-1}$.

Maastokoe 1

Taimitarhakokeesta 1 nostettiin 10.–12.5.1983 jokaiselta koealalta 75 normaalin latvakasvaimen omaavaa (vertailu) ja 75 jälkikasvuista, jotka täyttivät metsänviljelytaimien laatuvaatimukset (Maa- ja metsätalousministeriön päätös n:o 685/79). Taimet varastoitiin säkeissä jäävarastoon ja istutettiin 31.5. Koejärjestelynä oli satunnaistettu lohkokoe, jossa lannoituskäsittelyt (6 kpl, taulukko 1) arvottiin viiteen lohkoon. Jokaisen lannoituskäsittelyn jälkikasvuiset ja vertailutaimet istutettiin rinnakkaisiin riveihin (koeala = 15 taimen rivi). Riviväli oli 1,0 m ja taimiväli rivissä 0,5 m. Kokeessa oli kaikkiaan 900 tainta.

Maastokoet 2 ja 3

Taimitarhakoe 2:n taimilla perustettiin maastoon kaksi seurantakoetta keväällä 1984. Koska eri peruslannoituskäsittelyjen välillä ei ollut eroja taimien morfologiassa eikä ravinnepitoisuuksissa testattiin maastokokeessa 2 vain eri hoitolannoituksella kasvatettujen jälkikasvuisten ja vertailutaimien menestymistä. Erillisessä kokeessa (3) seurattiin eri jälkikasvutyyppiä edustavien taimien maastomenestymistä. Taimet nostettiin 3.–5.5., varastoitiin taimisäkeissä jäävarastoon ja istutettiin kokeisiin 7.–10.5.

Maastokoetta 2 varten valittiin keskimmäisen peruslannoituskäsittelyn (300 kg ha $^{-1}$ superfosfaattia ja 500 kg ha $^{-1}$ kloorivapaata Y-lannosta)

kaikilta hoitolannoitetuilta koealoilta 20 normaalia (vertailu) ja 20 jälkikasvuista, metsänviljelytaimien laatuvaatimukset täyttävää tainta. Koejärjestely oli kuten maastokokeessa 1, mutta testattavia lannoituskäsittelyjä oli kolme ja lohkoja kuusi. Taimia oli koealalla (rivissä) 10 kpl ja kokeessa kaikkiaan 360 kpl.

Maastokoetta 3 (jälkikasvutyyppikoe) varten valittiin taimia, joissa oli eri tyyppisiä jälkikasvuja. Riittävä määrä (50 kpl) taimia löytyi seuraavista ryhmistä:

1. Vertailu, ei jälkikasvua
2. Jälkikasvu sivusilmuista
3. Jälkikasvu sekä pääte- että sivusilmuista

Taimet nostettiin taimitarhavaiheen hoitolannoituskäsittelystä 3. Koejärjestelynä oli satunnaistettu (jälkikasvutyypit) lohkokoe (5 lohkoa). Taimet istutettiin molemmissa kokeissa 0,5 m:n taimi- ja 1,0 m:n rivivälein.

Seuranta

Maastokoe 1 mitattiin neljänä ja maastokokeet 2 ja 3 kolmena istutuksen jälkeisenä syksynä. Taimista mitattiin kunto (luokitus 0–3), pituus, pituuskasvu ja latvan häiriintyneisyys luokituksella: 0 – normaali, 1 – pääverso sivuversoja lyhyempi, 2 – edellisen kesän päätesilmu kuollut, 3 – uusi kasvain jäänyt muodostumatta, 4 – vain uusi pääverso, ei sivuversoja muodostunut, 5 – lukuisia kilpailevia lyhyehköjä latvakasvaimia (tupsulatva). Lisäksi tarkastettiin oliko taimissa jälkikasvua.

Maastokokeesta 2 kerättiin koetaimien ja koealueella kasvaneiden samankokoisten luonnontaimien neulasia ravinneanalyysiin kolmena istutuksen jälkeisenä vuonna lokakuun alussa. Neulasnäytteet otettiin systemaattisesti joka toisen taimen viimeisen vuosikasvun sivuversosta. Näytteet yhdistettiin lannoituskäsittelyittäin, jälkikasvuiset ja vertailutaimet omiksi ryhmikseen, ja kuivatettiin (+70 °C, 2 vrk) sekä analysoitiin kuten taimitarhakokeiden taimet.

Koetaimikot harvennettiin vuonna 1987 poistamalla joka toinen taimi sekä lisäksi kuolleet ja hyvin heikkokuntoiset taimet. Taimista mitattiin keväällä 1991, kolme kasvukautta harvennuksen jälkeen, pituus ja vuosien 1986–90 pituuskasvut. Taimien tekninen laatu arvioitiin luokittelemalla niissä esiintyneet muotoviat (haaroittuminen, poikaoksa, koro, runkomutka, kallistuma) sekä niiden aiheuttama haitta (ei haittaa, lievä, kohtalainen, vakava). Verrattaessa eri inventointikerroilla mitattuja vuoden 1986 taimien pituuksia todettiin, että harvennus ei muuttanut taimien pituusjakaumia.

2.3 Aineiston käsittely

Koejärjestelyt taimitarhakoetta 1 lukuunottamatta olivat satunnaistetun lohkokokeen tai osaruutukokeen (split-plot) mukaisia. Taimitarhakokeen 2 koejäsenten väliset erot testattiin varianssianalyysillä ja pareittaiset keskiarvoerot yksisuuntaisen varianssianalyysin jälkeen Tukeyn-testillä ja useamman tekijän varsianssianalyysin jälkeen kontrasteilla. Maastokokeessa 1 koejäsenten väliset erot testattiin kovarianssianalyysillä, jossa istutuspituutta pidettiin kovariaattina. Ennen analyysiä kovariaatin ja käsittelyjen välisten regressiokertoimien yhtäsuuruus testattiin. Jakaumien normaalisuus testattiin Lillieforsin testillä ja varianssien yhtäsuuruus Bartlettin testillä. Elossaolosadannesten ja jälkikasvuisten taimien osuuksien testaamista varten havainnot muunnettiin arcsin$\sqrt{}$-muunnoksella. Edellä mainitut analyysit samoin kuin jakaumien vertailu Kolmogorov-Smirnov -testillä ja korrelaatioiden laskenta toteutettiin SYSTAT-ohjelmistolla (Wilkinson 1989).

3 Tulokset

3.1 Taimien kehittyminen taimitarhalla

Taimitarhakoe 1 (hoito- ja syyslannoituskoe)

Syyslannoitus ei vaikuttanut taimien morfologisiin tunnuksiin eikä neulasten ravinnepitoisuuksiin, minkä vuoksi tulokset on yhdistetty ja esitetty hoitolannoitustasoittain. Taimien jälkikasvu (taulukko 4) lisääntyi liki suorassa suhteessa lannoitteena annetun typen määrään. Voimakkain lannoitus lisäsi neulasmassaa noin 50 % ja juurimassaa noin 30 % alimpaan lannoitustasoon

Taulukko 4. Jälkikasvuisten taimien osuus, neulasten pituus sekä neulasten, rangan ja juuriston kuivamassat kasvukauden jälkeen taimitarhakokeessa 1. Luvut on kuuden otoksen (á 90 tainta) keskiarvo ± keskiarvon keskivirhe.

Table 4. Proportion of seedlings with summer shoot, needle length, and dry masses of needles, stem and roots after the growing season according to levels of top-dressing in Nursery Expt. 1. Values are the mean ± SE of 90 seedlings.

Hoitolannoitus *Top-dressing*	Jälkikasvuisuus *Summer shoots*	Neulasen pituus *Needle length*	Kuivamassa – *Dry mass* Neulaset *Needles*	Ranka *Stem*	Juuret *Roots*
	%	mm	g		
1	3,9	48±0,9	3,23±0,08	2,09±0,08	1,07±0,05
2	6,2	59±1,8	4,12±0,24	2,42±0,13	1,14±0,05
3	9,6	73±3,3	4,85±0,31	2,47±0,15	1,40±0,10

Taulukko 5. Neulasten ravinnepitoisuudet kasvukauden päätyttyä (1.10.1982) taimitarhakokeessa 1. Luvut ovat kesällä sekä kesällä ja syksyllä hoitolannoitettujen koealojen keskiarvoja.

Table 5. Nutrient concentrations of needles according to top-dressing treatments at the end of growing season (Oct.1, 1982) in Nursery Expt. 1. Values are the means of plots top-dressed only in summer and both in summer and autumn.

Hoitolannoitus *Top-dressing*	Typpi *Nitrogen*	Fosfori *Phosphorus*	Kalium *Potassium*	Kalsium *Calcium*	Magnesium *Magnesium*
			mg g $^{-1}$		
1	16,4	1,8	8,5	3,2	1,1
2	15,3	1,9	9,0	3,2	1,0
3	18,9	2,0	7,9	3,4	1,0

verrattuna. Neulasten ravinnepitoisuuksien erot jäivät pieniksi joskin typpi- ja fosforipitoisuudet olivat korkeimpia voimakkaimmin lannoitetuilla koealoilla (taulukko 5). Vaikka käsittelyjen väliset erot ravinnepitoisuuksissa (mg g $^{-1}$) olivat pienet, muodostuivat erot neulasten ravinnesisällössä (mg/neulasto) suuremmiksi koska taimien massaerot käsittelyjen välillä olivat suuret.

Taimitarhakoe 2 (perus- ja hoitolannoituskoe)

Peruslannoitus ei vaikuttanut taimien ravinnepitoisuuksiin, morfologisiin tunnuksiin eikä kuivamassoihin. Tämän vuoksi peruslannoitustasot yhdistettiin aineistoa laskettaessa ja tulokset esitetetään hoitolannoitustasoittain.

Koulinnan jälkeisenä syksynä taimien neulasten keskimääräiset ravinnepitoisuudet (mg g $^{-1}$) olivat N 12,8, P 1,7, K 7,4, Ca 3,5 ja Mg 1,2. Seuraavana kesänä hoitolannoituksen lisääminen nosti merkitsevästi typen, fosforin ja kalsiumin pitoisuuksia, mutta laski magnesiumin pitoisuutta (taulukko 6). Neulasten kaliumpitoisuuteen ei hoitolannoituksella ollut vaikutusta. Vaikka neulasten ravinnepitoisuuksissa kahden alimman lannoitustason välillä ei ollut eroja, olivat erot neulasten ravinnesisällössä selviä. Neulasten typen, fosforin ja kalsiumin pitoisuudet korreloivat merkitsevästi ($r > 0,75$) keskenään. Magnesium oli puolestaan negatiivisessa riippuvuudessa em. ravinteiden kanssa.

Hoitolannoitus ei vaikuttanut taimien pituuskasvuun ($\bar{x} = 11$ cm) eikä pituuteen ($\bar{x} = 23$ cm). Sen sijaan se lisäsi merkitsevästi taimien tyvilä-

Taulukko 6. Neulasten ravinnepitoisuudet hoitolannoitustasoittain kasvukauden loputtua (18.10.1983) taimitarhakokeessa 2. p-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason.

Table 6. Nutrient concentrations of needles at the end of the growing season (Oct 18, 1983) according to top-dressing levels in Nursery Expt. 2. p-values indicate the significance of the F-ratios of ANOVA.

Hoitolannoitus *Top-dressing*	Typpi *Nitrogen*	Fosfori *Phosphorus*	Kalium *Potassium*	Kalsium *Calcium*	Magnesium *Magnesium*
			mg g^{-1}		
1	13,5a	1,5a	8,5a	3,5a	1,2a
2	13,1a	1,5a	8,3a	3,3a	1,2a
3	18,8b	1,8b	8,1a	4,0b	1,0b
p-arvot *p-values*	< 0,001	< 0,001	0,356	< 0,001	< 0,001

Huom. Samat kirjaimet keskiarvojen jäljessä osoittavat, että ne eivät poikkea toisistaan Tukeyn-testin mukaan (p = 0,05).
Note: Means followed by the same letter do not differ significantly according to the Tukey-test (p = 0.05).

Taulukko 7. Taimien morfologiset tunnukset ja kuivamassat tarhakasvatuksen jälkeen lannoitustasoittain taimitarhakokeessa 2. p-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason.

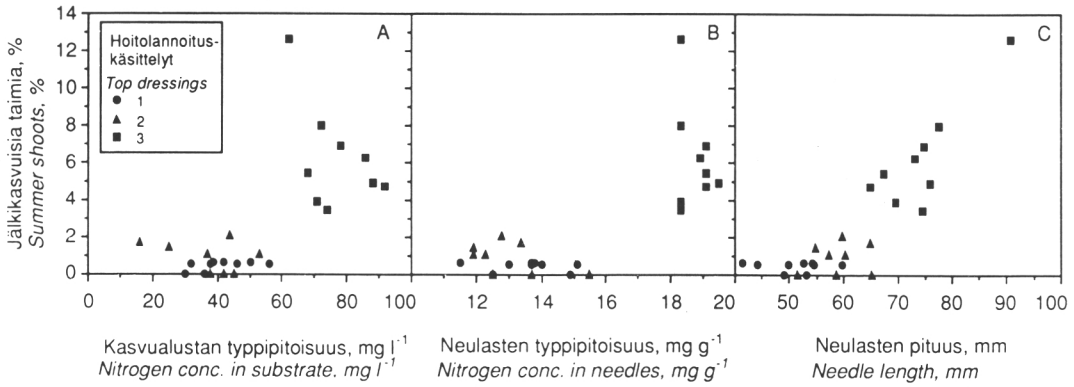
Table 7. Morphological characteristics and dry masses of seedlings after the growing season according to top-dressing levels in Nursery Expt. 2. p-values indicate the significance of the F-ratios of ANOVA

Hoitolannoitus *Top-dressing*	Pituuskasvu *Shoot growth*	Läpimitta *Root collar diameter*	Neulasen pituus *Needle length*	Jälkikasvuisten osuus *Summer shoots*	Kuivamassa – *Dry mass* Neulaset *Needles*	Ranka *Stem*	Juuret *Roots*
	mm			%	g		
1	112a	4,79a	51a	0,4a	2,82a	1,61a	1,53a
2	116a	5,21b	59b	1,1a	3,56b	1,92b	1,80b
3	112a	5,98c	74c	6,3b	5,01c	2,43c	2,35c
p-arvot *p-values*	0,805	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Huom. Samat kirjaimet keskiarvojen jäljessä osoittavat, että ne eivät poikkea toisistaan Tukeyn-testin mukaan (p = 0,05).
Note: Means followed by the same letter do not differ significantly according to the Tukey-test (p = 0.05).

pimittaa, neulasten pituutta ja taimien neulasten, rangan ja juurten kuivamassaa (taulukko 7). Juuri/verso-suhde pieneni hieman lannoituksen lisääntyessä.

Jälkikasvuisia taimia oli koko kokeen taimimäärästä 2,6 % ja koealoittain niiden suhteellinen osuus vaihteli 0–12,6 %. Valtaosa (73 %) jälkikasvuversoista oli muodostunut siten, että päätesilmu oli pysynyt levossa, mutta yksi tai useampia sivusilmuja oli puhjennut kasvuun. Runsas viidesosa (22 %) oli sekä sivu- että päätesilmuista puhjenneita jälkikasvuversoja ja 5 % oli sellaisia, joissa pelkästään päätesilmut olivat lähteneet kasvuun. Jälkikasvujen lyhytversot muodostuivat pääosin (65 %) kolmesta neulasesta. Vajaassa kolmanneksessa (31 %) lyhytversoissa normaali neulaspari muodosti lyhytverson ja loput 4 % lyhytversoista oli primäärineulasten kaltaisia (1-neulastyyppiä). Voimakkain hoitolannoitus lisäsi merkitsevästi taimien



Kuva 1. Jälkikasvuisten taimien suhteellisen osuuden (kasvukauden lopussa) riippuvuus kasvualustan typpipitoisuudesta (mitattu 15.7.) (A), neulasten typpipitoisuudesta (mitattu 18.10.) (B) sekä neulasten keskipituudesta (C) kokeessa 2. Kukin piste edustaa koealan keskiarvoa. Hoitolannoitustasot (1–3) on esitetty taulukossa 2.

Fig. 1. Occurrence of summer shoots at the end of nursery growth vs. nitrogen concentration of the substrate (measured Jul. 15) (A), nitrogen concentration of needles (measured Oct. 18) (B), and mean length of needles at the end of the growing period (C) in nursery Expt. 2. One dot represents mean for one treatment plot. Top-dressings (1–3) are shown in Table 2.

jälkikasvua kahteen alempaan lannoitustasoon verrattuna, mutta alimman ja keskimmäisen lannoitustason taimet eivät poikenneet jälkikasvun suhteen toisistaan merkitsevästi (taulukko 7).

Jälkikasvuisten taimien osuuden riippuvuus kasvualustan ja neulasten typpipitoisuudesta oli koealoittaisessa tarkastelussa selvä (kuvat 1A, 1B). Kun kasvualustan typpipitoisuus nousi yli 60 mg l^{-1} (hoitolannoitustaso 3) ja vastaavasti neulasten typpipitoisuus yli 16 mg g^{-1}, lisääntyi jälkikasvuisten taimien osuus voimakkaasti. Myös neulasten muiden ravinteiden pitoisuuden ja jälkikasvuisten taimien osuuden välinen riippuvuus oli voimakas johtuen ravinteiden pitoisuuksien keskinäisestä korrelaatiosta.

Jälkikasvuisten taimien osuus kuten typpipitoisuuskin korreloi voimakkaasti myös taimien morfologisten ominaisuuksien kuten neulasten pituuden ja taimien tyviläpimitan kanssa. Jälkikasvuisten taimien osuus lisääntyi lineaarisesti neulasten pituuden kasvaessa yli 60 mm:n (kuva 1C). Jälkikasvuisten ja "normaalien" taimien pituusjakaumat koulintavaiheessa erosivat toisistaan merkitsevästi (Kolmogorovin-Smirnovin testi: $p < 0{,}001$). Jälkikasvuiset taimet olivat tuolloin olleet selvästi lyhyempiä ($\bar{x} = 8{,}4$ cm) kuin vertailutaimet ($\bar{x} = 11{,}6$ cm)).

3.2 Maastomenestyminen

Maastokoe 1

Syyslannoitus ei vaikuttanut taimien istutuksen jälkeiseen pituuskehitykseen ($p = 0{,}990$) eikä elossaoloon ($p = 0{,}771$). Tämän vuoksi aineiston laskennassa syyslannoituskäsittelyä pidettiin toistona. Ensimmäisen kesän aikana kokeella kuoli vain yksi taimi. Toisen kasvukauden jälkeen keskimääräinen kuolleisuus oli 2 %, kolmannen kasvukauden jälkeen 6 % ja neljännen kasvukauden jälkeen 10 %. Käsittelyjen välisiä eroja taimien kuolleisuudessa analysoitiin varianssianalyysimallilla, jossa selittävinä muuttujina oli hoitolannoitustason, vertailu/jälkikasvukäsittelyn ja lohkon lisäksi lannoituksen ja vertailu/jälkikasvu-käsittelyn yhdysvaikutus. Vertailutaimien kuolleisuus oli neljän kasvukauden jälkeen merkitsevästi pienempi kuin jälkikasvuisina istutettujen kuolleisuus (taulukko 8). Hoitolannoitus ei vaikuttanut kuolleisuuteen. Sen sijaan hoitolannoituksen ja vertailu/jälkikasvukäsittelyn yhdysvaikutus oli merkitsevä. Lannoituksen lisääntyessä jälkikasvuisina istutettujen taimien elossaolo parani.

Jälkikasvuiset taimet olivat istutettaessa noin 2 cm lyhyempiä ja ne kasvoivat hieman heikommin kuin vertailutaimet (taulukko 8). Pituuskasvuero oli tilastollisesti merkitsevä ($p = 0{,}004$) vain istutuskesänä. Istutuspituuden lisääminen kovariaatiksi analyysimalliin ei kuitenkaan muuttanut tulosta. Niinpä ero ei ilmeisesti johtunut taimien alkupituudesta, vaan oli seurausta jälkikasvusta. Se, että neljän kasvukauden kuluttua istutuksesta jälkikasvuiset taimet olivat merkitsevästi ($p = 0{,}025$) vertailutaimia lyhyempiä, näyttäisi johtuneen istutusvaiheen pituuseroista. Istutuspituus kovariaattina oli merkitse-

Taulukko 8. Taimien elossaolo 4 kasvukauden jälkeen, istutuspituus sekä pituus 4 ja 8 kasvukautta istutuksen jälkeen hoitolannoituskäsittelyittäin vertailutaimilla (V) ja jälkikasvuisilla taimilla (J) maastokokeessa 1. p-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason. Istutuspituutta käytetty kovariaattina testattaessa taimien pituuseroja 4-vuotiaana.

Table 8. Survival 4 years after planting, initial height and height 4 and 8 years after planting of control (V) and summer shoot (J) seedlings according to top-dressing levels in Field Expt. 1. p-values indicate the significance of the F-ratios of ANOVA. When height differences of 4th year were tested, planting height was used as a covariate.

Hoito-lannoitus *Top-dressing*	Vertailu/ jälkikasv. *Control/ summer shoot*	Elossaolo *Survival*	Istutus-pituus *Initial height*	Pituus – *Height* 4 vuotta *4 years*	8 vuotta *8 years*
		%		cm	
1	V	96	25a	123a	291a
	J	85	23	123	297
2	V	92	28b	141b	325b
	J	89	26	131	307
3	V	92	28b	148c	336b
	J	91	24	142	318
$p_{lann} - p_{lert.}$		0,978	0,009	< 0,001	0,009
$p_{vj} - p_{vj}$		< 0,001	< 0,001	0,908	0,558
$p_{lxvj} - p_{lxvj}$		0,025	0,628	0,081	0,255
$p_{ist.pit.} - p_{pl.height}$		-	-	< 0,001	0,302
$p_{lohko} - p_{block}$		< 0,001	-	0,023	< 0,001

Huom. Samat kirjaimet keskiarvojen jäljessä osoittavat, että hoitolannoitustasojen keskiarvot eivät poikkea toisistaan kontrastin mukaan (p = 0,05).
Note: Means of top-dressing levels followed by the same letter do not differ significantly according to contrasts (p = 0.05).

vä, mutta jälkikasvu ei muodostunut enää merkitseväksi selittäjäksi (taulukko 8). Kahdeksan kasvukauden jälkeen jälkikasvuisina istutetut taimet olivat keskimäärin 10 cm vertailutaimia lyhyempiä. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Myöskään istutuspituus kovariaattina ei ollut enää merkitsevä.

Hoitolannoituksen vaikutus istutuksen jälkeiseen kasvuun oli selvä. Voimakkaasti lannoitetut taimet kasvoivat parhaiten ja lannoitustasojen välinen ero säilyi merkitsevänä neljän vuoden ajan. Vaikka tämän jälkeen kasvuerot pienenivät, hoitolannoituksella oli vielä 8 kasvukauden jälkeen merkitsevä vaikutus taimien pituuteen. Voimakkaimmin lannoitetut taimet olivat runsaan 10 % (34 cm) pitempiä kuin niukimmin lannoitetut taimet.

Taimissa ilmeni jälkikasvua vielä istutuksen jälkeisinäkin vuosina. Jälkikasvu oli varsin voimakasta toisena (31 %) ja kolmantena (11 %), mutta vähäisempää neljäntenä (3 %) istutuksen jälkeisenä vuonna. Jälkikasvuisina istutetuissa taimissa istutuksen jälkeistä jälkikasvua ilmeni merkitsevästi enemmän kuin vertailutaimissa ja taimitarhalla voimakkaasti lannoitetuissa taimissa yleensä vähemmän kuin niukemmin lannoitetuissa taimissa.

Ensimmäisinä vuosina istutuksen jälkeen 15–20 % kaikista taimista oli kasvutavaltaan häiriintyneitä. Vain istututusvuoden syksyllä ero oli merkitsevä (p < 0,001) vertailutaimien (7 %) ja jälkikasvuisena (22 %) istutettujen taimien välillä. Yleisimpiä olivat viat, joissa latvaverso oli sivuversoja lyhyempi tai puuttui kokonaan (koko aineistosta 8 %) sekä tupsulatvaiset taimet (5 %). Seuraavana vuonna häiriintyneiden taimien osuus kasvoi vertailutaimien ryhmässä niin, että ero jälkikasvuisina istutettuihin verrattuna supistui 4 %-yksikköön eikä se ollut enää tilastollisesti merkitsevä. Kahdeksan vuoden kuluttua istutuksesta, harvennuksen jälkeen, virheettömiksi luokiteltuja taimia oli 60 %. Taimissa havaituista vioista olivat yleisimpiä haarautuma ja poikaoksa (16 % koko taimimääräs-

Taulukko 9. Taimien elossaolo 3 kasvukauden jälkeen, istutuspituus ja pituus 3 ja 7 kasvukautta istutuksen jälkeen hoitolannoituskäsittelyittäin vertailutaimilla (V) ja jälkikasvuisilla taimilla (J) maastokokeessa 2. p-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason.

Table 9. Survival 3 years after planting, initial height and height 3 and 7 years after planting of control (V) and summer shoot (J) seedlings by top-dressing levels in Field Expt. 2. p-values indicate the significance of the F-ratios of ANOVA.

Hoito-lannoitus *Top-dressing*	Vertailu/ jälkikasv. *Control/ summer shoot*	Elossaolo *Survival*	Istutus-pituus *Initial height*	Pituus – *Height* 3 vuotta *3 years*	7 vuotta *7 years*
		%		cm	
1	V	92a	26a	84a	234a
	J	85	25	87	231
2	V	93a	28a	93b	258b
	J	93	27	89	242
3	V	88a	27a	99c	264c
	J	95	27	98	269
$p_{lann.} - p_{lert.}$		0,679	0,249	< 0,001	< 0,001
$p_{vj} - p_{vj}$		0,434	0,200	0,667	0,393
$p_{lohko} - p_{block}$		0,320	-	< 0,001	< 0,001

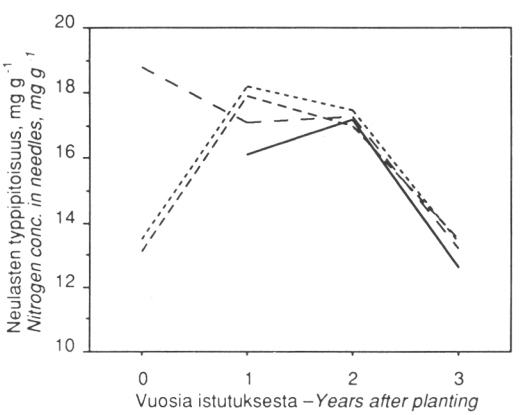
Huom. Samat kirjaimet keskiarvojen jäljessä osoittavat, että hoitolannoitustasojen keskiarvot eivät poikkea toisistaan kontrastin mukaan (p = 0,05).
Note: Means of top-dressing levels followed by the same letter do not differ significantly according to contrasts (p = 0.05).

tä) ja tyvimutka tai kallistuma (17 % koko taimimäärästä). Viat luokiteltiin yleensä lieviksi. Vakaviksi arvioituja vikoja oli 8 %:ssa taimista. Taimitarhavaiheen jälkikasvulla eikä hoitolannoituksella ollut enää vaikutusta havaittuihin vikoihin.

Maastokoe 2

Taimikuolleisuus oli ensimmäisen kasvukauden jälkeen 3 %, toisen 6 % ja kolmannen kasvukauden jälkeen 9 %. Koekäsittelyillä, kasvatusvaiheen hoitolannoitustasoilla tai jälkikasvulla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kuolleisuuteen (taulukko 9). Jälkikasvuisten taimien elossaolo parani lannoituksen lisääntyessä kuten kokeessa 1. Tämä yhdysvaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Jälkikasvu ei vaikuttanut taimien pituuskehitykseen (taulukko 9). Sen sijaan taimitarhavaiheen hoitolannoitus lisäsi taimien kasvua neljän kasvukauden aikana. Vaikka lannoituksen vaikutus sen jälkeen heikkeni, taimien pituuserot olivat vielä kahdeksan vuoden kuluttua



Kuva 2. Neulasten typpipitoisuus kolmen istutuksen jälkeisen vuoden aikana eri hoitolannoitustasojen taimilla (1 = - - -, 2 = – – –, 3 = — — —) ja samalla koealalla kasvaneilla luonnontaimilla (—) maastokokeessa 2. Hoitolannoitustasot on esitetty taulukossa 2.

Fig. 2. Nitrogen concentration in needles during the three first years after planting according to top-dressing levels (1 = - - -, 2 = – – –, 3 = — — —) and with naturally regenerated seedings (—) from the same field area in Field Expt. 2. Top-dressings are shown in Table 2.

Taulukko 10. Taimien elossaolo 3 kasvukauden jälkeen, istutuspituus ja pituus 3 ja 7 kasvukautta istutuksen jälkeen jälkikasvutyypeittäin maastokokeessa 3. p-arvot osoittavat varianssianalyysin F-suhteiden merkitsevyystason.

Table 10. Survival 3 years after planting, initial height and height 3 and 7 years after planting of seedlings with different summer shoot type in Field Expt. 3. p-values indicate the significance of the F-ratios of ANOVA.

Jälkikasvutyyppi *Type of summer shoot*	Elossaolo *Survival*	Istutuspituus *Initial height*	Pituus – *Height* 3 vuotta *3 years*	Pituus – *Height* 7 vuotta *7 years*
	%		cm	
1. Vertailu *Control*	94a	30b	99a	285a
2. Sivusilmu *Prolepsis*	80a	28a	91b	271a
3. Pääte + sivusilmu *Lammas + prolepsis*	88a	26a	89b	270a
p-arvo *p-value*	0,074	0,010	0,009	0,171

Huom. Samat kirjaimet keskiarvojen jäljessä osoittavat, että ne eivät poikkea toisistaan Tukeyn-testin mukaan ($p = 0,05$).
Note: Means followed by the same letter do not differ significantly according to Tukey-test ($p = 0.05$).

istutuksesta merkitseviä hoitolannoitustasojen välillä. Voimakkaimmin lannoitetut taimet olivat keskimäärin 15 % (34 cm) pitempiä kuin vähiten lannoitetut taimet.

Voimakkaimmin lannoitettujen taimien typpipitoisuus laski hieman, mutta muiden taimien typpipitoisuus nousi selvästi istutuskesänä verrattuna edellisen syksyn arvoihin taimitarhalla (kuva 2). Toisena ja kolmantena vuonna taimien neulasten typpipitoisuudet vakiintuivat luonnontaimien arvojen tasolle kaikissa käsittelyissä. Fosforipitoisuudet käyttäytyivät samalla tavalla kuin typpipitoisuudet. Kaliumpitoisuus, joka oli sama kaikissa käsittelyissä taimitarhakasvatuksen jälkeen, laski luonnontaimien kaliumpitoisuuden tasolle toisen kasvukauden jälkeen. Jälkikasvuisina istutettujen ja vertailutaimien neulasten ravinnepitoisuuksissa ei esiintynyt eroja istutuksen jälkeen.

Myös maastokokeen 2 taimissa ilmeni jälkikasvua istutuksen jälkeen. Jälkikasvuisina istutetuissa taimissa oli jälkikasvuisten taimien osuus toisena vuonna 11 % ja kolmantena vuonna 9 % ja vertailutaimissa vastaavasti 4 % ja 2 %. Ero oli molempina vuosina tilastollisesti merkitsevä (2. v.: $p = 0,023$, 3. v.: $p = 0,003$). Toisin kuin maastokokeessa 1 jälkikasvuisten taimien osuus ei eronnut eri lannoitustasojen välillä.

Muotovikojen määrä taimissa lisääntyi istutuksen jälkeisinä vuosina ollen ensimmäisenä vuonna keskimäärin 8 %, toisena vuonna 11 % ja kolmantena vuonna 25 %. Istutusvuoden syksyllä jälkikasvuisina istutetuista taimista puuttui latvakasvain (12 %) selvästi useammin kuin vertailutaimista (3 %). Seuraavina vuosina, vaikka vikojen (monilatvaisuus, haaroittuminen) määrä lisääntyi, hävisivät erot jälkikasvuisten ja vertailutaimien välillä. Taimitarhavaiheen lannoitus ei vaikuttanut latvan vikoihin. Kahdeksan vuoden kuluttua istutuksesta normaaleiksi luokiteltuja taimia oli 57 %. Haarautuneita ja poikaoksaisia oli koko taimimäärässä 24 % ja tyvimutkaisia ja kallistuneita 17 %. Vakaviksi viat arvioitiin 7 %:ssa taimista. Koekäsittelyjen välillä ei vikojen osuudessa enää ilmennyt eroja.

Maastokoe 3 (jälkikasvutyyppikoe)

Istutuskesänä taimista kuoli keskimäärin 9 % ja kahtena seuraavana vuonna yhteensä 4 %-yksikköä lisää. Kolmen kasvukauden jälkeen jälkikasvuttomien vertailutaimien elossaolo oli korkein ja sivusilmusta jälkikasvuun puhjenneilla taimilla alhaisin (taulukko 10). Varianssianalyysillä testattuna erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

Vertailutaimet kasvoivat alkuvaiheessa jälkikasvuisia taimia nopeammin ja neljän kasvukauden jälkeen vertailutaimet olivat merkitsevästi pitempiä kuin jälkikasvuisina istutetut taimet. Seitsemän kasvukauden jälkeen, jolloin taimien pituus oli keskimäärin 275 cm, pituuserot (suurimmillaan 5,5 %) eri tyyppien välillä eivät olleet enää merkitseviä.

Jälkikasvuisina istutetut taimet puhkesivat toisena ja kolmantena istutuksen jälkeisenäkin vuotena jälkikasvuun. Eniten jälkikasvuja (n. 20 %) oli ryhmässä, jossa oli taimitarhalla sekä pääettä sivusilmuista alkaneita jälkikasvuja. Vertailutaimissa ei ollut jälkikasvuja yhtenäkään vuonna.

Muotovikoja oli istutusvuoden syksyllä merkitsevästi ($p = 0,001$) enemmän ryhmässä, jossa sekä pääte- että sivusilmu olivat lähteneet jälkikasvuun (22 %) kuin vertailutaimissa (2 %). Sivusilmujälkikasvuisina istutetuissa häiriintyneitä oli 9 %. Yleisintä vikatyyppiä edusti taimi, jonka latvakasvain oli kuollut tai jäänyt muodostumatta. Seuraavina vuosina vikojen kokonaismäärä lisääntyi. Niitä oli edelleen vähiten

vertailutaimissa, mutta erot eivät olleet enää muihin ryhmiin verrattuna merkitseviä.

Seitsemän kasvukauden jälkeen yleisimpiä ulkoisia taimien muotovikoja olivat ranganvaihdot ja korot. Vertailutaimissa vikoja oli vähän (9 %). Vaikka jälkikasvuisina istutetuissa taimissa vikoja oli huomattavasti enemmän (40 %), ero ei muodostunut merkitseväksi ($p = 0{,}163$). Vertailutaimissa kaikki viat olivat lieviä. Noin 9 %:ssa sivusilmujälkikasvuisina ja 14 %:ssa pää- ja sivusilmujälkikasvuisina istutetuista taimista viat luokiteltiin vakaviksi.

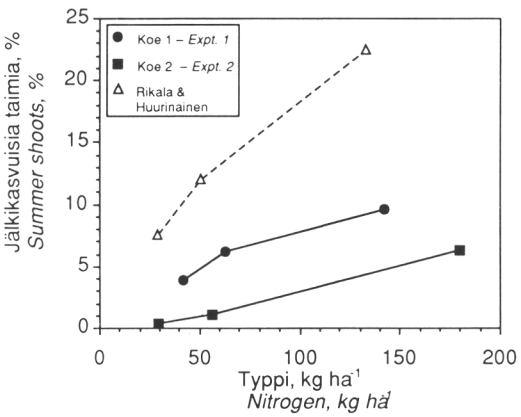
4 Tulosten tarkastelu

Lannoitus ja jälkikasvu taimikasvatuksessa

Hoitolannoitus lisäsi molemmissa taimitarhakokeissa selvästi jälkikasvuisten taimien osuutta. Se kasvatti merkitsevästi myös neulasten typpipitoisuutta ja taimien kuivamassaa, mikä näkyi mm. tyviläpimitan kasvuna ja neulasten pitenemisenä. Taimien juuri/verso-suhdetta lannoitus pienensi hieman, mutta ei merkitsevästi. Kasvukauden aikaisen hoitolannoituksen vaikutukset taimien morfologiaan ja ravinnepitoisuuksiin olivat odotettuja ja samanlaisia kuin lukuisissa aiemmissa tutkimuksissa eri puulajeilla niin paljasjuurisilla (esim. Duryea 1984) kuin paakkutaimilla (esim. Rikala & Huurinainen 1990).

Taimitarhakokeessa 2 jälkikasvuisten taimien osuus lisääntyi voimakkaasti kasvualustan typpipitoisuuden kohotessa yli 60 mg l^{-1} ja neulasten typpipitoisuuden yli 18 mg g^{-1}. Kokeessa 1 lannoituskäsittelyjen keskiarvojen perusteella jälkikasvu lisääntyi jo alemmilla typpiarvoilla. Jälkikasvua esiintyi siis jo männyntaimien kasvatusta varten suositelluilla ravinnearvoilla (Viljavuustutkimuksen... 1988). Käytetyn koejärjestelyn vuoksi ei voida olla varmoja, että juuri typpi lisäsi taimien jälkikasvua, sillä myös muiden ravinteiden pitoisuudet neulasissa korreloivat jälkikasvun kanssa. Typen merkitystä kuitenkin korostaa se, että molemmissa tämän tutkimuksen kokeissa sekä Rikalan & Huurinaisen (1990) tutkimuksessa lannoitteina annetuista ravinteista vain typellä oli voimakas riippuvuus jälkikasvun kanssa (kuva 3). Sekä männyllä (Aldén 1971) että sitkan kuusella (Coutts & Philipson 1976) tehdyt tutkimukset osoittavat, että NPK-lannoitus lisää jälkikasvua, mutta Larsenin (1983) mukaan douglaskuusella nimenomaan typpilannoitus lisäsi jälkikasvua.

Kokeessa 1 jälkikasvuisten taimien osuus oli selvästi suurempi kuin kokeessa 2, vaikka jälkimmäisessä kokeessa käytettiin voimakkaampaa typpilannoitusta. Ero saattaa johtua kokeen



Kuva 3. Jälkikasvuisten taimien suhteellisen osuuden riippuvuus lannoitteena annetun typen määrästä taimitarhakokeissa 1 ja 2 sekä Rikalan & Huurinaisen (1990) tutkimuksessa.

Fig. 3. Occurrence of summer shoots vs. amount of nitrogen applied as fertilizer in Nursery Expts. 1 and 2 and in the experiment of Rikala & Huurinainen (1990).

1 koulintaa seuranneen vuoden kuivan alkukesän jälkeisestä sateisesta elokuusta verrattuna kokeessa 2 vastaavaan ajankohtaan, jolloin kaikki kesäkuukaudet olivat keskimääräistä vähäsateisempia. Keskikesän jälkeisten runsaiden sateiden ja kasvualustan kosteuden tiedetään lisäävän jälkikasvujen osuutta (Aldén 1971, Lavender 1984, Ritchie 1984). Syynä saattoi olla myös se, että koulintamateriaali oli pienempää taimitarhakokeessa 1 kuin 2, mikä voisi johtua erilaisista kasvuoloista ennen koulintaa. Aldénin (1971) mukaan nimittäin edellisen kasvukauden epäedulliset kasvuolot yhdistettynä toisen kasvukauden suotuisiin kasvuoloihin tuottavat runsaasti jälkikasvuja männyntaimilla. Samoin taimitarhakokeen 2 jälkikasvuisten ja jälkikasvuttomien taimien pituusero koulintavaiheessa tu-

kee Aldénin (1971) johtopäätöstä, että heikommin kasvaneet taimet puhkeavat helpommin jälkikasvuun seuraavana kasvukautena, jos se on suotuisa.

Jälkikasvu on ominaisuus, joka kytkeytyy voimakkaasti sekä säähän että taimien perimään (esim. Rudolph 1964). Niinpä jälkikasvun laukaiseva ravinnemäärä myös vaihtelee (kuva 3). Jälkikasvun eliminoiminen pelkästään lannoitusta vähentämällä onkin vaikeaa, koska samalla voitaisiin heikentää taimien ravinnetilaa. Nopeammin ja tehokkaammin jälkikasvujen puhkeaminen voitaisiin ilmeisesti estää oikea-aikaisella taimien juurten leikkauksella (Aldhous 1972), joka heikentää nopeasti sekä veden (Parviainen 1980) että ravinteiden (Benson & Shepherd 1977) ottoa.

Syyslannoitus ei vaikuttanut taimien kokoon eikä ravinnepitoisuuteen. Syynä tähän on todennäköisesti liian pieni ravinnemäärä (12 kg N ha^{-1}). Suonenjoen taimitarhan syyslannoituskokeessa vasta noin 40 kg ha^{-1} typpiannos kohotti lievästi männyntaimien neulasten typpipitoisuutta, mutta mikäli kasvukauden aikainen lannoitus oli voimakas, vaikutus jäi olemattomaksi (julkaisematon aineisto). Myös useilla muilla havupuulajeilla tehdyissä syyslannoitustutkimuksissa vasta suuremmat typpimäärät (50–140 kg N ha^{-1}) ovat vaikuttaneet taimien ravinnepitoisuuksiin (esim. Benzian ym. 1974, van den Driessche 1985, Margollis & Wareing 1986, Gleason ym. 1990).

Koulintaa edeltänyt peruslannoitus ei vaikuttanut taimiin. Tämä johtunee siitä, että koulinnan jälkeen veden ja ravinteiden otto on usein huomattavasti heikentynyt (Sands 1984), mitä voi havupuilla korostaa lannoitteiden kasvualustan suolapitoisuutta kohottava vaikutus (Aldhous 1972). Tästä rasitustilanteesta on merkkinä syyskoulituilla männyntaimilla yleisesti esiintyvä punertava väri ja taimien verraten alhainen typpipitoisuus. Peruslannoitus ei vaikuttanut seuraavankaan kesän kasvuun tai ravinnepitoisuuksiin. Ilmeisesti valtaosa peruslannoituksessa annetuista helppoliukoisista ravinteista huuhtoutuu syksyn ja talven aikana (van der Boon & Niers 1983). Syyskoulinta-alueen peruslannoituksella tulisikin pyrkiä korjaamaan vain selvät analyysillä todetut hivenravinteiden puutteet ja välttää helppoliukoisten ravinteiden käyttöä.

Taimien istutuksen jälkeinen menestyminen

Maastokokeessa 1 kuoli jälkikasvuisia taimia hieman enemmän kuin vertailutaimia. Kuolleisuuden eroihin ei löydetty selviä syitä. Lannoituksen ja jälkikasvun yhdysvaikutus maastokokeessa 1 voisi viitata siihen, että alimmalla lannoitustasolla kasvatetuista taimista vain jälkikasvualtteimmat puhkesivat jälkikasvuun, ja olivat mahdollisesti istutuksen jälkeen myös herkimpiä pakkasille ja muille rasituksille (Lavender 1984). Rudolphin (1964) mukaan banksinmännyn jälkikasvuversot ovat luonnonoloissa hieman alttiimpia pakkasvaurioille kun jälkikasvuttomat taimet, mutta halla ei yleensä aiheuta kuolleisuutta eikä vaurioita silmuja. Jälkikasvuversojen heikomman pakkaskestävyyden voisi selittää kuusella havaitut jälkikasvun muuta versoa alhaisemmat typpipitoisuudet (Levy & Strullu 1979). Troengin & Ackzellin (1990) mukaan alhainen ravinnetaso heikentää versojen pakkaskestävyyttä. Vaikka jälkikasvuversot eivät kokonaan paleltuisikaan, taimet saattavat pitemmän kasvukauden vuoksi olla alttiita esim. versosurmalle (Uotila 1985).

Jälkikasvulla sinänsä ei ollut vaikutusta taimien myöhempään kasvuun, vaan vertailutaimien hieman nopeampi pituuskehitys kokeissa 1 ja 3 selittyy jälkikasvuisten ja vertailutaimien istutuspituuden erolla (esim. Thompson 1985, Rikala 1989). Vielä 3–4 kasvukauden jälkeen vertailutaimet olivat näissä kokeissa 4–10 % pitempiä kuin jälkikasvuisina istutetut taimet. Kahdeksan kasvukauden kuluttua pituusero jälkikasvuisten ja vertailutaimien välillä oli supistunut 3–6 %:iin. Päinvastoin kuin tässä tutkimuksessa, jälkikasvuisten männyntaimien (Ehrenberg 1963) ja sitkan kuusen taimien (Cannell & Johnstone 1978) on todettu kasvavan nopeammin kuin vertailutaimien.

Taimitarhavaiheen lannoitus lisäsi selvästi taimien pituuskasvua istutuksen jälkeen neljän kasvukauden ajan, jonka jälkeen erot pienenivät. Voimakkaimmin lannoitetut taimet olivat kuitenkin 10–15 % pitempiä kuin niukimman lannoituksen saaneet taimet vielä 7–8 kasvukauden kuluttua istutuksesta. Tulos noudattaa yleistä käsitystä siitä, että mitä kookkaampia taimet istutettaessa ovat olleet ja mitä korkeampi on ollut taimen typpisisältö (mg/taimi), sitä paremmin ne kasvavat istutuksen jälkeen (esim. Duryea & McClain 1984). Lannoituksen vaikutus perustuukin usein taimien kokoeroon alussa, eivätkä erilailla lannoitettujen taimien kasvunopeudet istutuskokoon suhteutettuna poikkeakaan toisistaan (van den Driessche 1991).

Toisin kuin tässä tutkimuksessa, männyn paakkutaimikokeessa voimakkain lannoitus (neulas-

ten typpipitoisuus 18,2 mg g $^{-1}$) ei alempaan lannoitustasoon verrattuna (neulasten typpipitoisuus 15,2 mg g $^{-1}$) lisännyt taimien kasvua istutuksen jälkeen (Rikala & Huurinainen 1990). Ero saattaa johtua siitä, että em. tutkimuksessa istutusalan kasvualustan kokonaistyppipitoisuus (0,13 %) oli selvästi pienempi kuin tässä tutkimuksessa (0,40 %). Voimakkaasti lannoitetut taimet saattavat mukautua istutusalalle sitä paremmin mitä ravinnerikkaampi on kasvualusta. Tämän tutkimuksen istutusalan korkeaa ravinnepitoisuutta kuvaa kahden alimman lannoitustason taimien ravinnepitoisuuden nousu istutusvuonna. Em. paakkutaimikokeessa kaikkien lannoitustasojen taimien pääravinnepitoisuudet laskivat istutusvuonna jopa puoleen taimitarhavaiheen ravinnepitoisuuksista.

Normaalia viljavampi istutusalue ilmeisesti aiheutti taimissa tavallista runsaampaa jälkikasvua istutuksen jälkeen. Taimitarhalla jälkikasvuun puhjenneissa taimissa oli selvästi runsaammin jälkikasvuja kuin vertailutaimissa myös istutuksen jälkeen, mikä tukee aiempia tuloksia (esim. Ehrenberg 1963, 1975, Rudolph 1964), että taipumus jälkikasvuun on selvästi taimen perimään kytkeytyvä ominaisuus.

Jälkikasvu sekä taimitarhalla että istutusalalla aiheutti alkuvuosina taimiin muotovikoja, kuten lievää pensastumista ja tupsulatvaisuutta sekä myöhemmin haarautumista ja poikaoksia. On mahdollista, että joinakin vuosina jälkikasvuversot kuolivat. Tähän viittaa alkuvuosina yleisin muotovika, jossa latvakasvain oli sivuversoja lyhempi tai puuttui kokonaan. Yleensä muutaman vuoden kuluttua alkuperäinen latva tai joku haaroista pääsee kuitenkin vallitsevaksi ja muotovika jää merkityksettömäksi kuten aiemmissakin tutkimuksissa on todettu (esim. Rudolph 1964, West & Rogers 1971). Jälkikasvuisina istutetuissa taimissa oli alussa merkitsevästi enemmän erilaisia muotovikoja kuin vertailutaimissa. Myöhemmin erot pienenivät, mikä ilmeisesti johtui istutuspaikalla erilaisten tuhojen aiheuttamista, jälkikasvusta riippumattomista vaurioista.

Johtopäätökset

Lannoitus lisäsi sekä taimien kuivamassaa että jälkikasvuisten taimien osuutta taimitarhalla. Jälkikasvuun vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät, kuten taimien perimä ja sääolot, niin voimakkaasti, että jälkikasvun välttäminen lannoitusta vähentämällä ei ole aina mahdollista alentamatta samalla taimien ravinnepitoisuuksia liikaa. Ravinnepitoisuuksista annettuja ohjearvoja noudattamalla jälkikasvun määrä voidaan pitää kohtuullisena.

Jälkikasvuisten taimien elossaolo ja pituuskehitys maastokokeissa olivat hieman heikompia kuin vertailutaimilla. Pieni kasvuero kuitenkin selittyi taimien istutusvaiheen kokoeroilla. Jälkikasvuisina istutetuissa taimissa oli alussa myös ulkoisia muotovikoja enemmän kuin vertailutaimissa. Nämäkin erot pienenivät ja lähes hävisivät 8 vuoden kuluessa. Syyt jälkikasvuisten taimien vertailutaimia hieman suurempaan kuolleisuuteen jäivät tutkimuksessa epäselviksi. Vaikka jälkikasvua kannattaa välttää männyntaimia kasvatettaessa, tulokset eivät puolla jälkikasvun ottamista hylkäysperusteeksi taimien lajittelussa.

Kirjallisuus – References

Aldén, T. 1971. Influence of CO_2, moisture and nutrients on the formation of Lammas growth and prolepsis in seedlings of Pinus silvestris L. Inverkan av CO_2, vatten och näring pa bildningen av sommarskott hos plantor av Pinus silvestris L. Studia Forestalia Suecica 93: 1–21.

Aldhous, J. 1972. Nursery practice. Forestry Commission Bulletin 43. Her Majesty's Stationery Office, London. 184 s.

Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. 1982. Food products. Analysis of fish and seafood – Dry ashing procedure FP-5. Perkin Elmer, Norwalk, Connecticut, U.S.A.

Benson, A. D. & Shepherd, K.R. 1977. Effects of nursery practice on Pinus radiata seedling characteristics and field performance II. Nursery root wrenching. New Zealand Journal of Forestry Science 7(1): 68–76.

Benzian, B., Brown, R.M. & Freeman, S.C.R. 1974. Effect of late-season top-dressing of N (and K) applied to conifer transplants in the nursery on their survival and growth on British forest sites. Forestry 47(2): 153–184.

Boon, J. van der & Niers, H. 1983. Leaching of nutrients from containers with nursery plants. Acta Horticulturae 150: 227–235.

Cannell, M.G.R. & Johnstone, R.C.B. 1978. Free or lammas growth and progeny performance in Picea sitchensis. Silva Genetica 27(6): 248–254.

Carvell, K.L. 1956. Summer shoot cause permanent damage to red pine. Journal of Forestry 54: 271.

Coutts, M. & Philipson, J.J. 1976. The influence of mineral nutrition on the root development of trees. I The growth of Sitka spruce with divided root systems. Journal of Experimental Botany 27(100): 1102–1111.

Driessche, R. van den. 1985. Late-season fertilization, mineral nutrient reserves, and retranslocation in planted douglas-fir (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) seedlings. Forest Science 31(2): 485–496.

— 1991. Effects of nutrients on stock performance in the forest. Teoksessa: Driessche, R. van den (toim.). Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press Boca Raton, Ann Arbor–Boston. s. 229–261. ISBN 0-8493-5971-6.

Duryea, M.L. 1984. Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.). Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 143–164. ISBN 90-247-2913-0.

— & McClain, K. M.1984. Altering seedling physiology to improve reforestation success. Teoksessa: Duryea, M.L. & Brown, G.N. (toim.). Seedling physiology and reforestation success. s. 77–114. ISBN 90-247-2949-1.

Ehrenberg, C.E. 1963. Genetic variation in progeny tests of Scots pine (Pinus sylvestris L.). Studia Forestalia Suecica 10. 135 s.

— 1975. Provenienshybrider av tall – en möjlighet till ökad produktion? Abstract: Provenance hybrids of Scots pine (Pinus sylvestris L.) – possibilities of increased production? Julkaisussa: Förflyttning av tallfrö – Föredrag från konferens i Lycksele 18–19 september 1975. Transfer of Scots pine (Pinus sylvestris L.) seed – Lectures from a conference at Lycksele 18–19 September 1975. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsgenetik. Rapporter och Uppsatser 17: 61–80.

Gleason, J. F., Duryea, M., Rose, R. & Atkinson, M.1990. Nursery and field fertilization of 2+0 ponderosa pine seedlings: the effect on morphology, physiology and field performance. Canadian Journal of Forest Research 20(11): 1766–1772.

Horwitz, W. (toim.). 1965. Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists. Association of Official Agricultural Chemists, Washington. 965 s.

Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in years 1955–1980. Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki. 182 s.

Lanner, R.M. 1976. Patterns of shoot development in Pinus and their relationship to growth potential. Teoksessa: Cannel, M.G.R. & Last, F.T. (toim.). Tree physiology and yield improvement. s.223–243. Academic Press, Lontoo.

Larsen, J.B. 1983. Drought resistance, water relations and growth in Pseudotsuga menziesii and Abies grandis in relation to nutrient supply. Forstlige Forsogsvaesen in Danmark 39(1): 1–82.

Lavender, D.P. 1984. Plant physiology and nursery environment: Interactions affecting seedling growth. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis,T.D. (toim.). Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s.133–141. ISBN 90-247-2913-0.

Levy, G. & Strullu, D.G. 1979. Caractères morphologiques et teneurs en éléments minéraux des aiguilles portées sur les différentes pousses (de printemps et "d'août") chez l'Epicéa commun (Picea excelsa Link). Summary: Morphological characteristics and mineral nutrients content of the needles growing on the different shoots (spring and lammas shoots) of Norway Spruce (Picea excelsa Link). Annales des Sciences Forestières 36(3):231–237.

Maa- ja metsätalousministeriön päätös metsänviljelyaineiston kaupasta n:o 1036/87.

Margolis, H. & Waring, R. 1986. Carbon and nitrogen allocation of Douglas-fir seedlings fertilized with nitrogen in autumn. II. Overwinter metabolism. Canadian Journal of Forest Research 16: 897–902.

Parviainen, J. 1980. Juurten leikkaaminen männyn paljasjuuristen taimien kasvatusmenetelmänä. Zusammenfassung: Wurzelschnitt als Anzuchtsmethode bei wurzelnackten Kiefernpflanzen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(2). 129 s.

— & Konttinen, K. 1978. Männyn avomaataimien koulinta-ajankohtakoe. Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 25. 11 s.

Raulo, J. & Leikola, M. 1974. Tutkimuksia puiden vuotuisen pituuskasvun ajoittumisesta. Summary: Studies on the annual height growth of trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 81(2). 19 s.

Rikala, R. 1989. Planting performance of size graded Scots pine seedlings. Teoksessa: Mason,W.L., Deans, J.L. & Thompson,S. (toim.). Producing uniform conifer planting stock. Forestry Supplement 62: 29–37.

— & Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus männyn kaksivuotisten paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Summary: Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year old containerized Scots pine seedlings. Folia Forestalia 745. 16 s.

Ritchie, G. 1984. Assessing seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.). Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoffer/Dr. W. Junk. Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. s. 243–259. ISBN 90-247-2913-0.

Rudolph, T.D. 1964. Lammas growth and prolepsis in jack pine in the Lake States. Forest Science Monograph 6. 70 s.

Sands, R.1984. Transplanting stress in radiata pine. Australian Forest Research 14: 67–72.

Thompson, B.E.1985. Seedling morphological evaluation – What you can tell by looking. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest research laboratory. Proceedings

of the workshop held October 16–18,1984. Oregon State University, Corvallis. s. 59–71. ISBN 0-87437-000-0.
Troeng, E. & Ackzell, L. 1990. Effects of carbon dioxide enrichment on bud formation and growth of coniferous seedlings. Acta Horticulturae 268: 179–189.
Uotila, A. 1985. Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalttiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: On the effect of seed transfer on the susceptibility of Scots pine to Ascocalyx abietina in southern and central Finland. Folia Forestalia 639. 12 s.
Vaartaja, O. 1957. Photoperiodic responses in seedlings of northern species. Canadian Journal of Botany 32: 392–399.
Viljavuustutkimuksen tulkinta metsäpuiden taimituotannossa. 1988. Viljavuuspalvelu Oy. Moniste. 11 s.
West, R.F. & Rogers, R. 1971. The effect of lammas growth on the stem form of young Scotch pine. 17th Northeastern Forest Tree Improvement Conference, Pennsylvania State University Park, Pennsylvania. August 4–6,1969. Proceedings. s. 14–20.
Wilkinson, L. 1989. SYSTAT: The system for statistics. Evanston, IL: SYSTAT, Inc. 688 s.

Total of 39 references

Summary

Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings

Effect of fertilization on the nutrient concentration, morphology and incidence of summer shoots of bare-root Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings was studied in two nursery experiments during two successive years, 1982 and 1983. The two experiments were carried out in the transplanting field of Syrjälä Central Nursery (N 61°53', E 29°11', 90 m asl). The soil was sandy moraine amended with peat substrate. Two-year-old pine seedlings were transplanted in late July to a density of 90 seedlings m^{-2}. In Experiment 1 the size of a treatment plot was 9 m × 30 m. Plots were top-dressed with three levels of fertilizer (Table 1). Each plot was divided into two sub-plots and one of these was top-dressed again in late August (autumn fertilization). Treatments were not replicated. In Experiment 2, maintenance dressing of three fertilizer levels was the main treatment, and top-dressings with three levels were sub-treatments in randomized block design. Each treatment was replicated three times. The size of a treatment plot in this experiment was 5 m × 6 m. The middle treatments of maintenance dressing and top-dressing represent normal nursery practice (see applied nutrients in Table 2). In both experiments, two doses of top-dressing fertilizers were applied in July.

Soil samples were taken two weeks after the last top-dressing. Electrical conductivity, soluble nitrogen, exchangeable calcium and potassium, and soluble phosphorus were analyzed from these samples (Kurki 1982). Maintenance dressing did not affect the nutrient concentration of the soil in the next growing period. In both experiments the most intensive top-dressing nearly doubled the nitrogen concentration compared to the lowest treatment, and in Nursery Experiment 1 but not in Experiment 2 it increased the potassium concentration (Table 3).

In nursery experiments, 90 (Expt. 1) or 45 (Expt. 2) seedlings/plot were sampled systematically in October at the end of the last growing season. Seedling height, height growth, length of current needles and diameter of root collar were measured and the type of summer shoot (lammas, prolepsis) was recorded. Dry masses (70 °C, 2 d) of seedling components were weighed, and the nitrogen (Kjeldahl), phosphorus (Horwitz 1965), potassium, calcium and magnesium (Analytical methods... 1982) concentrations in the needles were analyzed. Numbers of seedlings with and without summer shoots in the nursery bed were determined by systematic sampling (20 % of all seedlings).

Three field experiments were established in the spring of 1983 and 1984 with seedlings raised in the nursery. The planting site was on the *Myrtillus*-type open-cut area near the nursery. The humus layer was mixed with mineral soil before planting. Rows of 15 summer shoot seedlings and 15 normal seedlings from each fertilizer treatment (6) of Nursery Experiment 1 were randomized in each of 5 blocks making a total of 900 seedlings (Field Experiment 1). Rows of 10 summer shoot seedlings and 10 normal seedlings from top-dressing treatments (3) of Nursery Experiment 2 were randomized in each of 6 blocks making a total of 360 seedlings (Field Experiment 2). From Nursery Experiment 2 seedlings with different types of summer shoots (1 - without summer shoot, 2 - prolepsis shoot, 3 - lammas and prolepsis shoots) were also planted (Field Expt. 3). Rows of 10 seedlings of

each summer shoot type were randomized in each of 5 blocks making a total of 150 seedlings. All the seedlings were planted with a planting hook 0.5 m apart in rows that were 1 m apart.

Height, height growth, mortality and stem deformations of the seedlings were measured in field experiments during four (Field. Expt. 1) or three (Field. Expts. 2 and 3) successive autumns after planting. Half of the seedlings were thinned in 1987 and the rest were measured again in the spring of 1991. Needles from planted and naturally regenerated seedlings in Field Experiment 2 were sampled and nutrient concentrations were analyzed as in the nursery experiments during three successive autumns after planting.

Because neither maintenance dressing nor autumn fertilization affected seedling characteristics, the results were combined and are shown by top-dressing treatments in both experiments. In both experiments top-dressing fertilization increased the proportion of seedlings with summer shoots as well as dry mass, length and root collar diameter, but not the height growth of seedlings (Tables 4, 7). Most (73 %) of the summer shoots formed from lateral buds (prolepsis), 22 % formed from both terminal and lateral buds (lammas and prolepsis) and 5 % solely from terminal buds (lammas). Most (65 %) of the fascicles in summer shoots consisted of three needles, 31 % of two needles and 4 % of one needle. The transplanting height of seedlings which produced summer shoots ($\bar{x} = 8.4$ cm) had been significantly (Kolmogorov-Smirnov test: $p < 0.001$) shorter than that of seedlings which had not had the second flush ($\bar{x} = 11.6$ cm) in the nursery.

Top-dressing clearly increased nitrogen concentration and slightly increased the phosphorus concentration of needles (Tables 5, 6). The occurrence of summer shoots was clearly correlated with the nitrogen concentrations of both soil and needles (Figs. 1A, 1B). Occurrence of summer shoots increased markedly as the nitrogen concentration increased to over 60 mg l^{-1} and 16 mg g^{-1} in soil and needles, respectively. There was also a strong correlation between needle length and occurrence of summer shoots (Fig. 1C).

In field experiments control seedlings survived slightly better than seedlings with summer shoots (Tables 8, 9, 10). Nursery fertilization did not affect the survival of seedlings; but in Expt. 1, fertilization and control/summer shoot treatment had an interaction affect on survival of seedlings. This suggests that seedlings with summer shoots from the lowest fertilization treatment tended most towards summer shooting genetically, and they were also most susceptible to frost and other stresses after planting. Control seedlings grew slightly better than seedlings with summer shoots, but in analysis of covariance the growth difference in Expt. 1 was explained by the greater height of control seedlings at planting. In Expt. 3, planting height did not explain that difference, which, however, decreased with age of the seedlings. Summer shoots also occurred after planting, specially in the second and third year. Occurrence of summer shoots was significantly higher in seedlings that had summer shoots when planted than in control seedlings.

The most intensive nursery fertilization, compared to the lowest fertilization, clearly improved the height growth of seedlings during the four years after planting, whereupon the difference between fertilizer treatments decreased but was still significant 7–8 years after planting (Table 8, 9). Fertilization did not affect survival of the seedlings.

During the planting season the nutrient concentration of the most intensively fertilized seedlings decreased and that of seedlings from lower fertilization levels increased (nitrogen concentration shown in Fig. 2). During the second and third growing seasons nutrient concentrations levelled off to the concentrations of the naturally regenerated seedlings in that area.

After planting, seedlings with summer shoots had more morphological deformations than the control seedlings did. Deformations such as multiple-leaders and bushy form appeared during the first few years after planting, and forking of stem and ramicorns became evident later on. The difference in number of deformations between control and summer shoot seedlings decreased and almost disappeared during the 7–8 years of the study.

In conclusion, fertilization increased both the dry masses of seedlings and the occurrence of summer shoots in seedlings in the nursery. Other factors such as provenance and weather affect incidence of summer shoot so strongly that it seems to be impossible to avoid them merely by decreasing fertilization (see Fig. 3). Otherwise, there is a risk of nutrient deficiencies in seedlings. Following recommendations for nutrient concentration of soil and needles normally keeps the number of summer shoots low. The survival and growth of summer shoot seedlings were slightly lower than in the controls. Reason for the slightly higher mortality for seedlings with summer shoots than for control seedlings remained unclear, although the small difference in growth was explained by the planting size of seedlings. Differences in stem deformations disappeared during the 7–8 years of the study. Although it is worth avoiding summer shoots when raising pine seedlings, it is not recommended that summer shoots be considered as a criterion for rejection when seedlings are sorted at the nursery.