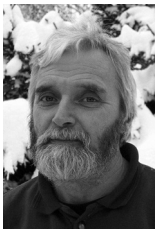




Risto Rikala



Martti Vuorinen

Risto Rikala ja Martti Vuorinen

Boorin levitysajankohdan vaikutus kivennäismaan kuusikon neulasten booripitoisuuteen

Rikala, R. & Vuorinen, M. 2005. Boorin levitysajankohdan vaikutus kivennäismaan kuusikon neulasten booripitoisuuteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2005: 51–56.

Tutkimuksessa selvitettiin boorin puutteesta kärsivän viljelykuusikon lannoitusajankohdan vaikutusta neulasten booripitoisuuteen. Lannoitteena käytettiin booria (0,6%) sisältävää Pellonmetsityksen PK I-lannosta, jota levitettiin (3 kg B/ha vastaava määrä) yksinpuin lannoituksena 2,5 m:n säteelle tyven ympärille syyskuun alussa, lokakuun alussa tai seuraavan vuoden toukokuussa. Puiden neulasten ravinnepitoisuudet analysoitiin kolmena ajankohtana: ennen lannoitusta, marraskuussa ja seuraavan vuoden lokakuun lopussa. Syksyllä lannoitettujen kuusien neulasten booripitoisuudet nousivat niukasti tai eivät lainkaan lannoitusvuonna. Sen sijaan seuraavan vuoden lokakuuhun mennessä kaikkien levitysajankohtien lannoitus nosti neulasten booripitoisuudet 8–13-kertaisiksi lannoitusta edeltävään tilanteeseen verrattuina. Voimakkain vaikutus oli kuitenkin toukokuun lannoituksella. Tulokset osoittivat, että kuusten neulasten booripitoisuus nousee odotetusti ja riittävästi sulanmaan ajan lannoituksesta, ajankohdasta riippumatta.

Asiasanat: boori, kasvuhäiriö, kuusi, lannoitusajankohta

Yhteystiedot: Metla, Suonenjoen tutkimusasema, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki

Sähköposti risto.rikala@metla.fi, martti.vuorinen@metla.fi

Hyväksytty 4.3.2005

I Johdanto

Metsien vuotuinen lannoituspinta-ala on lisääntynyt 1990-luvun alun 1500 hehtaarista vuoden 2002 noin 20000 hehtaariin (Metsätilastollinen vuosikirja 2003). Noin 60 % kaikista ja 77 % yksityismailla toteutetuista lannoituksista oli maan ravinne-epätasapainon korjaamiseksi tehtyjä terveyslannoituksia. Erityisesti kivennäismaiden kuusikoissa kasvuhäiriöitä aiheuttavan booripuutoksen (Hynönen ym. 1999, Rikala 2004, Tamminen ja Saarsalmi 2004) torjuminen lannoituksella on viime vuosina lisääntynyt. Lannoitukset toteutetaan pääosin helikopterilevityksenä, joka ajoittuu koko sulanmaan kaudelle (Sarvi 2004). Eri lannoitteiden levitys pyritään ajoittamaan sopivaksi lannoitusvaikutuksen kannalta. Pyrkimyksenä on saada levitykset toteutettua syyskuun alkuun mennessä. Joinakin vuosina booria sisältävien lannoitteiden levitystä on kuitenkin jouduttu jatkamaan aina marraskuulle saakka ja on epäilty, että osa boorista ehtisi huuhtoutua syksyn ja talven aikana ennen seuraavaa kasvukautta.

Suomessa on tutkittu N- ja PK-lannoitteiden lannoitusajankohdan vaikutusta puuston kasvuun. PK-lannoituksen levitysajankohdalla ei näytä olevan merkitystä puuston kasvun kannalta turvemaidella (Paarlahti 1967, Paavilainen 1977). Kangasmailla typpilannoitteiden levitysajankohdan vaikutuksen on todettu riippuvan lannoitteen typpimuodosta ja alueen sijainnista sekä jossain määrin levitysajankohdasta ja sääoloista (Viro 1970, Derome 1975, 1979, Puro 1982, Lipas 1988). Erityisesti helppoliukoisen nitraattitypen huuhtoutumisen syyssateiden mukana on arveltu heikentävän lannoitustulosta (Möller 1981).

Boorilannoituksen ajoituksen vaikutuksia puiden kannalta ei ole toistaiseksi selvitetty. Koska boori on liukoinen ravinne, joka helposti huuhtoutuu kasvien saavuttamattomiin (Mengel ja Kirkby 1982), on syyslannoitusten vaikutuksen epäilty jäävän heikomaksi kuin kasvukauden aikaisten lannoitusten.

Booria levitetään sellaisenaan tai osana seoslannoitetta boorin puutteesta kärsivissä metsissä. Boorilannoituksen vaikutus on nopea ja se ilmenee neulasten booripitoisuuksissa jo lannoitusvuonna (Silfverberg 1982), joten lannoituksen jälkeen voi-

daan lyhytaikaisellakin seurannalla selvittää puiden boorinottoa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako myöhään syksyllä annettu boorilannoitus samalla tavoin kuusien neulasten booripitoisuuteen kuin alkukesällä toteutettu lannoitus. Kysymystä selvitettiin runsaan vuoden kestäneessä, 30-vuotiaaseen viljelykuusikkoon perustetussa kokeessa, jossa lannoitetta levitettiin puukohtaisesti kolmena ajankohtana ja neulasten ravinnepitoisuuksista pääteltiin, miten puut ottivat booria eri levitysjakoitien lannoituksista.

2 Aineisto ja menetelmät

Koealue ja koejärjestelyt

Koe perustettiin Suonenjoella Haudanmäen tilalle (62°49'P, 26°26'T, 100 m mpy) 30-vuotiaaseen istutuskusikkoon, joka aikaisempien neulasanalyysien (booripitoisuus v. 2000 3,2 mg/kg) mukaan kärsi boorin puutteesta (esim. Jukka 1988). Kuusikko oli istutettu vanhalle kaskialueelle, josta oli talvikaudella 1971/72 hakattu harvahko koivu-leppä-kuusi-sekametsikkö.

Puuston tiheys oli lannoituskokeen perustamishetkellä 2900 runkoa/ha, joista kuusien osuus ja keskiläpimitta rinnankorkeudelta olivat 82 % ja 10 cm, koivujen 12 % ja 5 cm, pihlajien 4 % ja 3 cm ja harmaaleppien 2 % ja 7 cm. Kasvupaikan metsätyyppi oli OMT ja maalaji lajittunutta hienoa hiekkaa. Maalajin määrittämistä varten kivennäismaakerroksesta (0–20 cm) otettiin putkikairalla (Ø 22 mm) jokaisesta lohkoista viiden osanäytteen kokoomanäyte, joista määritettiin seulomalla raekoostumus (>2 mm 10,4 %, 2–0,6 mm 31,5 %, 0,6–0,2 mm 28,1 %, 0,2–0,06 mm 19,7 % ja <0,06 mm 10,3 %). Pintakasvillisuus oli niukkaa ja maanpinta oli puiden alla lähes kokonaan neulaskarikkeen ja osin seinäsammalkasvuston peittämää. Aukkokohtissa kasvillisuus muodostui mustikasta, ketunleivästä, vanamosta, oravanmarjasta ja heinäkasveista.

Kemiallista analyysiä varten alueelta otettiin kolmesta kohtaa näytteet (à 10 osanäytettä) sekä humuksesta että kivennäismaasta (0–20 cm) em. putkikairalla. Kaikki osanäytteet yhdistettiin yhdek-

si kokoomanäytteeksi ja ne kuivattiin +35 °C:ssa. Paksut juuret (>2 mm) ja kivet (>2 mm) poistettiin humusnäytteistä ennen jauhamista. Kivennäismaanäytteet seulottiin 2 mm:n seulalla. Kivennäismaan orgaanisen aineksen pitoisuus oli 5,8 %. Happamuus analysoitiin sekä humus- (pH 2,9) että kivennäismaanäytteiden (pH 4,9) vesisuspensiosta (1:2,5) ja boori (humus: 0,916 mg/kg, kivennäismaa: 0,074 mg/kg) kuumavesiuutoksesta.

Kokeessa käytettiin yksinpuin lannoitusmenetelmää, joka oli osoittautunut hyväksi boorilannoituskokeissa (Saarsalmi ja Tamminen 2004) ja jota on käytetty aiemminkin lannoituskokeissa (Viro 1970, Brockley 2003). Lannoitettaviksi koepuiksi valittiin 24 valtapuustoon kuuluvaa puuta, joiden pituus vaihteli 10–16 m ja rinnankorkeusläpimitta 11–19 cm. Koepuut olivat vähintään 7 m:n etäisyydellä toisistaan. Koepuut ryhmiteltiin kuuteen neljän puun lohkoon ja yksi puu lohossa arvottiin jokaiseen lannoitusajankohtakäsittelyyn. Lannoitusajankohtakäsittelyt olivat 1) vertailu (ei lannoitusta), 2) 6.9.2002, 3) 3.10.2002 ja 4) 15.5.2003. Lannoitteena käytettiin Kemiran Pellonmetsityksen PK1-lannoitetta, jonka ravinneoostumus oli P 6 % (vesiliukoista 1 %), K 11 %, Ca 12,5 %, Mg 4,0 %, S 3,0 %, B 0,6 %, Cu 0,5 %, Zn 0,5 %. Boorin raaka-aineena oli käytetty natriumboraattia. Lannoitetta levitettiin 500 kg/ha (3 kg B/ha) vastaava annos jokaisen lannoitettavan puun ympärille 2,5 m:n säteelle, jolloin yhden puun ympärille levitetty annos oli 982 g. Lannoite levitettiin käsin ja levitystasaisuuden varmistamiseksi punnittiin lannoitemäärät valmiiksi neljänneskto-reille, jotka lannoitusta varten rajattiin narulla.

Jokaisesta koepuusta, ylimmästä etelänpuoleisesta latvaneljänneksestä, otettiin neulasnäytteet kolmena ajankohtana: 1) ennen lannoitusta 5.9.2002 (v. 2002 kasvaimet), 2) 6.11.2002 (v. 2002 kasvaimet) ja 3) 22.10.2003 (v. 2003 kasvaimet). Neulasnäytteet kuivattiin (3 vrk, +60 °C) ja jauhettiin. Näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa. Typpipitoisuus määritettiin CHN-analysaattorilla (Leco-1000) ja muiden pääravinteiden (P, K, Ca, Mg) ja hivenravinteiden (B, Cu, Zn) pitoisuudet määritettiin TGA-uunilla kuivatuhkistetusta näytteestä ICP-emissiospektrometrillä (ARL 3580).

Eri käsittelyihin arvottujen puiden neulasten ravinnepitoisuuksissa ennen lannoitusta vain kaliumissa oli eroja (p=0,049). Ensimmäiseen lannoituskertaan

arvottujen puiden kaliumpitoisuus oli alhaisempi (6,3 g/kg) kuin muissa käsittelyissä (>7,5 g/kg). Booripitoisuudet eivät poikenneet käsittelyjen välillä (p=0,605). Mitattujen puutunnusten (pituus, läpimitta, puiden lukumäärä lannoitetulla alalla) osalta eivät koepuut poikenneet lannoitusajankohden välillä merkitsevästi.

Sää kokeen aikana

Koejakson sääoloja seurattiin 7 km koealueelta kaakkoon sijaitsevan Suonenjoen tutkimusaseman säähavaintoaseman tietojen perusteella ja niitä verrattiin 30-vuotisjakson (1972–2001) keskimääriin kuukausikeskiarvoihin. Syyskuu 2002 oli lähes yhtä lämmin (8,7 °C) kuin keskimäärin (9,0 °C), mutta lokakuu (−1,0 °C) ja marraskuu (−6,5 °C) olivat noin 4 °C keskimääräistä kylmempiä. Syyskuu (36 mm) ja lokakuu (21 mm) olivat selvästi keskimääräistä (58 mm ja 49 mm) vähäsateisempia. Talvikaudella (marraskuu 2002–huhtikuu 2003) satoi lunta vetenä mitattuna 30 mm keskimääräistä (164 mm) vähemmän, mutta kesä 2003 oli kokonaissademäärältään lähes normaali (touko–lokakuu 380 mm).

Aineiston käsittely

Aineiston analyysissä havaintoyksikkönä oli puu. Käsittelyjen välisiä eroja testattiin satunnaistettujen lohkojen varianssianalyysillä ja pareittaiset keskiarvovertailut tehtiin Bonferronin testillä (p<0,05). Ennen lannoitusta määritettyjä ravinnepitoisuuksia käytettiin varianssianalyysissä kovariaatteina. Varianssien yhtäsuuruus testattiin Levenen testillä. Viimeisen näytteenottokerran arvot muunnettiin log(x+1)-muunnoksella. Analyysit toteutettiin SPSS-ohjelmistolla.

3 Tulokset

Lannoittamattomien vertailupuiden neulasten booripitoisuus pysyi seurantavuoden ajan vakavana, eikä eri näytteenottokertojen välillä ollut eroja (p=0,119). Syyskuun alussa lannoitetun kuusten

Taulukko 1. Kuusen neulasten ravinnepitoisuudet (keskiarvo±keskivirhe) 20.10.2003 käsittelyittäin (vertailu = ei lannoitusta) 6–14 kk lannoituksen jälkeen sekä varianssianalyysin osoittamat käsittelyjen väliset eroamistodennäköisyydet (p) (n = 6). Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferroni, p < 0,05).

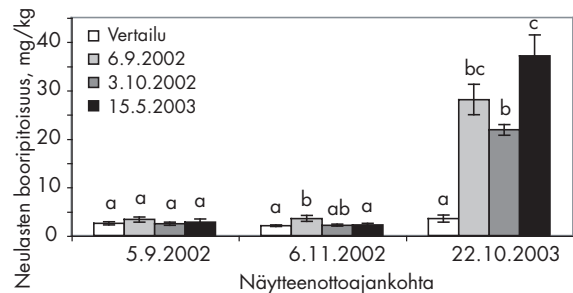
Lannoitus- ajankohta	N	P	K g/kg	Ca	Mg	Cu mg/kg	Zn
Vertailu	12,7±0,7a	1,80±0,06a	6,8±0,5a	5,8±0,6a	1,07±0,12a	2,2±0,1a	29±3a
6.9.2002	12,9±0,6a	1,90±0,10a	6,6±0,5ab	5,3±0,7a	1,15±0,07a	2,4±0,1a	33±5a
3.10.2002	12,5±0,3a	1,90±0,06a	7,5±0,4ab	4,5±0,6a	1,19±0,13a	2,2±0,1a	28±3a
15.5.2003	13,0±0,3a	2,12±0,12a	8,1±0,3b	4,7±0,3a	1,18±0,06a	2,3±0,1a	27±1a
p	0,809	0,049	0,036	0,358	0,545	0,134	0,305

neulasten booripitoisuus kohosi marraskuuhun mennessä 6 %:lla, kun muissa käsittelyissä, mukaan lukien lokakuun lannoitus, pitoisuus laski 10–12 %:lla. Käytettäessä syyskuun alun booripitoisuuksia kovariaattina (p < 0,001) varianssianalyysi osoitti syyskuun, mutta ei lokakuun lannoituksen nostaneen neulasten booripitoisuutta (kuva 1).

Vuoden kuluttua syyslannoituksista ja puolen vuoden kuluttua toukokuun lannoituksesta kaikkien lannoitettujen puiden booripitoisuudet olivat kohonneet 8–13-kertaisiksi ja olivat merkitsevästi (p < 0,001) vertailupuiden booriarvoja korkeampia. Voimakkain nousu oli toukokuussa ja heikoin lokakuussa lannoitetuissa puissa. Muiden lannoitteessa annettujen ravinteiden (P, K, Ca, Mg, Cu ja Zn) vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin oli huomattavasti vähäisempi kuin boorin (taulukko 1). Vain fosforin (p = 0,049) ja kaliumin (p = 0,036) pitoisuuksiin lannoitus vaikutti merkitsevästi. Toukokuun lannoitus nosti kaliumpitoisuutta 19 % ja fosforipitoisuutta 17 % lannoittamattomiin puihin verrattuna. Tällöin kovariaattina käytetyt, ennen lannoitusta mitatut ravinnepitoisuudet muodostuivat mallissa merkitseviksi. Neulasten typpipitoisuuteen lannoituksella ei ollut vaikutusta.

4 Tulosten tarkastelu

Syyskuun alun lannoitus nosti neulasten booripitoisuutta marraskuun alkuun mennessä vähän, mutta lokakuun alun lannoitus ei lainkaan. Sen sijaan seuraavan vuoden lokakuun loppuun mennessä kaikkien levitysajankohtien, syyskuun, lokakuun ja seuraavan vuoden toukokuun lannoitus nostivat neulasten



Kuva 1. Lannoitusajankohdan vaikutus kuusen neulasten booripitoisuuksiin eri näytteenottoajankohtina. Pystyjanat kuvaavat keskiarvon keskivirhettä (n = 6). Samalla kirjaimella merkittyjen pylväiden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa näytteenottoajankohtien sisällä.

booripitoisuutta voimakkaasti. Voimakkain vaikutus oli toukokuun lannoituksella; neulasten B-pitoisuus nousi yli 13-kertaiseksi alkutilanteeseen verrattuna. Edellisen syksyn sekä syys- että lokakuun lannoitukset nostivat B-pitoisuutta yli 8-kertaiseksi kuitenkin niin, että absoluuttisesti nousu oli voimakkaampi syyskuussa lannoitetuissa puissa. Tulos tukee aiempia havaintoja (Silfverbergin 1982, Saarsalmi ja Tamminen 2004, Hynönen 2004), joissa boorilannoituksen (2–2,5 kg/ha) vaikutus neulasten booripitoisuuksiin on nopeaa ja nousu samaa luokkaa kuin tässä kokeessa.

On ilmeistä, että puut eivät ota merkittävässä määrin booria syksyllä levitetystä lannoitteesta ennen talven tuloa. Tämä johtunee ilmojen viilenemisen ja säteilyn vähenemisen aiheuttamasta haihdunnan pienenemisestä (Cienciala ym. 1992), sillä boorin otto ainakin valtaosin tapahtuu haihduntavirran mukana (Mengel ja Kirkby 1982). Boorin otto vähenee myös

maan lämpötilan alentuessa (Ye ym. 2000), vaikkakin syksyllä maan lämpötila alenee hitaammin kuin ilman lämpötila. Viime vuosina on tosin osoitettu, että eräät kasvit pystyvät aktiiviseen boorinottoon (Dannel ym. 1998), mutta sen osuus lienee vähäinen. Syksyllä levitetyn boorilannoitteen hyödyntäminen näyttäisi tapahtuvan pääosin vasta seuraavana kasvukautena. Tätä tukee neulasten booripitoisuuden lähes olematon nousu syksyn lannoitusten jälkeen. Syyskuu oli lämpöoloiltaan keskimääräinen, mutta lokakuu keskimääräistä kylmempi, keskilämpötila alle 0 °C. Syyslannoitusten jälkeen syys-lokakuussa satoi selvästi keskimääräistä vähemmän, mikä on saattanut hidastaa myös boorin liukenemistä lannoiterakeista juuristojen ulottuville. Sen sijaan lumen sulamisvedet saattavat aiheuttaa boorin huuhtoutumista keväällä ennen maiden lämpenemistä, minkä vuoksi syyslannoitusten vaikutus neulasten booripitoisuuksiin saattoi olla toukokuun lannoitusta heikompi.

Koalueen humuskerros oli erittäin hapan, mutta kivennäismaakerros samaa luokkaa kuin Tamminen (1991) sekä Urvas ja Erviö (1974) ovat mitanneet vastaavilla kasvupaikoilla. Kasvuhäiriökuusikoiden humuskerros lienee yleensäkin hapan, sillä puustot ovat tiheitä ja humuskerroksen pintaosa muodostuu valtaosin happamasta ja niukasti maatuneesta kuusen neulaskarikkeesta. Happamuus on saattanut lisätä boorin liukoisuutta ja huuhtoutumista (Frank ja Stuanes 2003). Koalueen kivennäismaakerros (0–20 cm) oli myös varsin karkeata, mikä lisää huuhtoutumisriskiä. Lannoiteboorin huuhtoutumisesta emme löytäneet empiirisiä tutkimustuloksia, mutta Lehdon (1995) mukaan kangashumuksen hyvästä boorin pidätyskyvystä johtuen suurin osan lannoitteena annettavasta boorista (2,1 kg/ha) teoriassa pidättyy humuskerroksen yläpuoliskoon.

Tulokset osoittivat, että kuusten neulasten booripitoisuus nousee odotetusti ja riittävästi sulanmaan ajan lannoituksen ajankohdasta riippumatta. Syyslannoitetuilla puilla se ei kuitenkaan kohonnut aivan yhtä korkeaksi kuin kevätlannoitetuilla puilla, mikä voi johtua siitä, että osa syksyllä annetusta boorista huuhtoutuu syysateiden tai keväällä lumen sulamisvesien mukana juurten ulottumattomiin. Tämä tutkimus perustuu yhdessä metsikössä ja yhtenä vuonna toteutettuun kokeeseen, mikä rajoittaa tulosten yleistämismahdollisuuksia.

Kiitokset

Osmo Korhonen ja Arvi Jääskeläinen avustivat näytteidenotossa. Kiitämme myös Anna Saarsalmea ja Pekka Tammista sekä Tarja Lehtoa ja toista käsikirjoituksen tarkastajaa, jotka tekivät hyödyllisiä kommentteja ja parannusehdotuksia.

Kirjallisuus

- Brockley, R. 2003. Effects of nitrogen and boron fertilization on foliar boron nutrition and growth in two different lodgepole pine ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 988–996.
- Cienciala, E., Lindroth, A., Cermák, J., Hällgren, J.-E., Kucera, J. 1992. Assessment of transpiration estimates for *Picea abies* trees during growing season. *Trees – Structure and Function* 6: 121–127.
- Derome, J.R.M. 1975. Urease activity and distribution in forest soil. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 86(3). 28 s.
- 1979. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from urea pellets spread on top of the litter layer. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 97(2). 22 s.
- Frank, J. & Stuanes, A.O. 2003. Short-term effects of liming and vitality fertilization on forest soil and nutrient leaching in a Scots pine ecosystem in Norway. *Forest Ecology and Management* 176(1/3): 371–386.
- Hynönen, T. 2004. Booripitoiset lannoitteet ja nuoren kuusikon toipuminen häiriöstä. Julkaisussa: Rikala, R. (toim.). Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismaila. ”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriö”-hankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 934: 58–61.
- , Korhonen, K.T. & Tammilehto, E. 1999. Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savon kangasmetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999: 577–581.
- Jukka, L. (toim.). 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. 168 s.
- Lehto, T. 1995. Boron retention in limed forest mor. *Forest Ecology and Management* 78: 11–20.
- Lipas, E. 1988. Typpilannoituksen ajankohta kangasmetsissä. Summary: Timing of nitrogen fertilization on mineral soils. *Folia Forestalia* 709. 22 s.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutri-

- tion. 3. painos. International Potash Inst. 'Der Bund' AG, Bern. 655 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2003. Metsäntutkimuslaitos. 388 s.
- Möller, G. 1981. Gödslingstidpunktens betydelse för gödslingseffekten. Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1981: 46–84.
- Paarlahti, K. 1967. Lannoitusajankohdan vaikutus rämenmännikön kasvureaktioihin. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 63(4). 20 s.
- Paavilainen, E. 1977. Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levitysjankohdasta turvemaalla. *Folia Forestalia* 300. 16 s.
- Puro, T. 1982. Lannoitusajankohdan merkitys eri puulajien kasvureaktiossa, Summary: Effect of fertilization time on growth reaction of different tree species. *Folia Forestalia* 507. 14 s.
- Rikala, R. (toim.). 2004. Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla. ”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriö”-hankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 934. 68 s.
- Saarsalmi, A. & Tamminen, P. 2004. Boorilannoituksen vaikutus kasvuhäiriökuusikon ravinnetilään ja kehittymiseen. Julkaisussa: Rikala, R. (toim.). Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla. ”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriö”-hankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 934: 53–57.
- Sarvi, V. 2004. Lannoitteet helikopterilla maastoon kuin maastoon. Leipä leveämmäksi 1: 26–28.
- Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys i två spårämnes-gödslade granplanteringar Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients. *Folia Forestalia* 526. 12 s.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 777. 40 s.
- & Saarsalmi, A. 2004. Viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2004: 271–283.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytyminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. *Maataloustieteellinen Aikakauskirja* 46: 307–319.
- Viro, P.J. 1970. Time and effect of forest fertilization. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 70(5). 17 s.
- Ye, Z., Bell, R.W., Dell, B. & Huang, L. 2000. Response of sunflower to boron supply at low root zone temperature. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31(11/14): 2379–2392.

25 viitettä