



MTTK — MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tiedote 19/84

INTO SAARELA

Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto

Kevätöljykasvien boorilannoitus

**JOKIOINEN 1984
ISSN 0359-7652**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 19/84

INTO SAARELA

Kevätöljykasvien boorilannoitus

Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto
31600 JOKIOINEN
(916) 844 11

ISSN 0359-7652

ESIPUHE

Tämä tutkimus on toteutettu Maatalouden tutkimuskeskuksessa vuosina 1980-1984. Tutkimuksen johtaneen ja suurimmaksi osaksi toteuttaneen maanviljelyskemian ja -fysiikan osaston lisäksi siihen ovat osallistuneet maantutkimusosasto sekä Lounais-Suomen ja Satakunnan tutkimusasemat.

Tutkimusta tehdessäni olen joutunut kiitollisuudenvelkaan hyvin monille henkilöille. Parhaat kiitokseni esitän esimiehelleni professori Paavo Elloselle saamistani aineellisista ja inhimillisistä tutkimusresursseista sekä hyvistä työskentelymahdollisuuksista samoin kuin saamistani ohjeista ja jatkuvasta tuesta pitkän tutkimuksen eri vaiheissa.

Tutkimusasemat vastasivat suorittamiensa kenttäkokeiden toteutuksesta itsenäisesti. Esitän lämpimät kiitokseni Lounais-Suomen tutkimusaseman johtajalle tohtori Jaakko Köylijärvelle ja Satakunnan tutkimusaseman johtajalle maisteri Heikki Talvitielle sekä kaikille kokeiden hoitoon osallistuneille henkilöille. Maantutkimusosaston niinikään itsenäisesti suorittamista maa-analyyseistä kiitän lämpimästi osastoa johtaneita professori Mikko Sil-länpäättä ja vs. professori Jouko Sippolaa sekä kaikkia analyysityöhön osallistuneita henkilöitä.

Lannoitteita markkinoivat liikelaitokset toimittivat koelannoitteita kokeita varten maksutta. Siitä esitän kiitokseni tohtori Johan Korkmanille ja maisteri Mikko Yläselle Kemira Oy:stä sekä johtaja Urho Kittilälle Maatalouspalvelu Oy:stä. Raision tehtaiden laboratorioissa maksutta suoritettua öljy- ja klorofyllipitoisuuden määrittämisestä kiitän agronomi Tuula Laukasta sekä analyysien tekoon osallistuneita henkilöitä.

Maanviljelyskemian ja -fysiikan osastossa tutkimuksen toteuttamisesta ovat suurimman vastuun kantaneet Risto Tanni kenttäkokeiden suorittamisesta, Marjatta Ahola astiakokeiden perustamisesta ja hoidosta, Erja Aijälä maan ja kasvien boorianalyyseistä sekä Rauha Kallio tutkimuksen puhtaaksikirjoituksesta. Esitän edellä mainituille ja myös kaikille nimeltä mainitsemattomille tutkimuksen toteuttamiseen osallistuneille työtovereille parhaat kiitokseni.

Tämä tutkimus hyväksyttiin keväällä 1984 maanviljelyskemian ja -fysiikan
lisensiaattityöksi. Esitän parhaat kiitokseni opettajalleni professori
Armi Kailalle työn suunnittelussa saamistani ohjeista ja vt. professori
Antti Jaakkolalle työn kirjoittamisessa saamistani ohjeista. Parhaat kii-
tokseni myös dosenteille Johan Korkman ja Raili Jokinen työn tarkastukses-
ta ja arvokkaasta kritiikistä.

Jokioisissa lokakuussa 1984

Into Saarela

Sisällysluettelo

| | Sivu | |
|------|--|-----|
| I | Johdanto | |
| | 1. Historiallinen katsaus | 1 |
| | 2. Boorin tehtävät kasveissa | 2 |
| | 3. Tutkimuksen tarkoitus | 5 |
| II | Aineisto ja menetelmät | |
| | 1. Kenttäkokeet | 6 |
| | 2. Astiakokeet | 11 |
| | 3. Boorin määrittäminen maa- ja kasvi- näytteistä | 17 |
| III | Maan boori | |
| | 1. Boorin esiintyminen maaperässä | 28 |
| | 2. Maan booritilan arviointi | 33 |
| | 3. Lisätyn boorin pidättyminen maahan ja liikkuminen maaprofiilissa | 41 |
| IV | Kasvien boori | |
| | 1. Kasvien boorinotto ja boorin liikkuvuus kasveissa | 51 |
| | 2. Kalkituksen vaikutus kasvien boorinsaan- tiin | 53 |
| | 3. Boorilannoituksen vaikutus kasvien boori- pitoisuuteen | 58 |
| V | Boorin vaikutukset öljykasveihin | |
| | 1. Boorin vaikutus muiden ravinteiden ottoon | 63 |
| | 2. Boorin vaikutus kasvuun ja ulkonäköön | 65 |
| | 3. Boorin vaikutus satoon | 70 |
| VI | Öljykasvien boorilannoitustarve | |
| | 1. Öljykasvien boorintarve | 81 |
| | 2. Boorin tarve maassa öljykasveilla | 88 |
| | 3. Öljykasvien boorilannoitussuositukset | 94 |
| VII | Tarkastelu | 99 |
| VIII | Yhteenveto | 101 |
| IX | Kirjallisuutta | 105 |
| | Taulukkoliitteet | 118 |
| | Värikuvaliitteet | 123 |

I JOHDANTO

1. Historiallinen katsaus

Alkuaine boori keksittiin vuonna 1808. Kasvista tätä kevyttä epämetallia löydettiin puoli vuosisataa myöhemmin (WITTSTEIN ja APOIGER 1857). Viime vuosisadan lopussa boorin tiedettiin esiintyvän kasveissa yleisesti (JAY 1895).

Boorin vaikutusta kasveihin tutki ensimmäisenä (CHANDLERin 1941 mukaan) PELIGOT (1876). Kokeet osoittivat tämän aineen myrkylliseksi, sillä kasvien lehdet kellastuivat ja kuolivat. Ensimmäiset tiedot pienten boorimäärien kasvua edistävästä vaikutuksesta ovat tämän vuosisadan alusta. NAKAMURA (1903) totesi maahan lisätyn boorin voimistavan herneen ja pinaatin kasvua. AGULHON (1910) havaitsi ravinneliuksessa olevan boorin lisäävän vehnän, kauran ja turnipsin satoa, mutta ei kuitenkaan pitänyt booria kasvinravinteena vaan eräänlaisena katalyyttinä. MAZĒn (1915) vesiviljelykokeissa boori vaikutti niin selvästi maissin kasvuun, että tekijä katsoi osoittaneensa tämän alkuaineen kasvinravinteeksi.

WARRINGTON (1923) osoitti kiistattomasti, että boori on välttämätön aine härkäpavulle, sillä ilman boorilisäystä vesiliuoksessa kasvatetut pavut kuolivat muodostamatta lainkaan siemeniä. Myös ruusupapu ja veriapila hyötyivät boorista selvästi, mutta pensaspapu, valkoapila ja herne vähemmän. Ohran, virnan ja rukiin boorintarvetta ei voitu osoittaa. Myöhemmät tutkimukset varmistivat, että kyseessä oli nimenomaan boorin spesifinen vaikutus eikä koeolosuhteisiin liittynyt satunnainen tulos. Mikään kokeilluista 52 alkuaineesta ei korvannut booria (BRENCHLEY ja WARRINGTON 1927). SOMMER ja LIPMAN (1926) havaitsivat boorin edistävän mm. auringonkukan, puuvillan, ohran, tattarin, pellavan ja sinapin kasvua.

Luonnollisessa maassa kasvavan kasvin boorilannoitustarpeen lienee osoittanut ensimmäisenä KUIJPER (1930), joka Hollannin Itä-Intiassa esti tupakan verson kasvupisteen kuolemisen boorihappokäsittelyllä. BRANDENBURG (1931) osoitti juurikkaiden sydänmädän boorin puutteesta johtuvaksi fysiologiseksi kasvitautiksi, joka on torjuttavissa boorilannoituksella.

Kun edelliset tutkimukset olivat osoittaneet, että pellossa kasvavat kasvit saattavat kärsiä boorin puutteesta, boorilannoitustutkimus laajeni nopeasti maapallon eri puolilla. Boorin merkitys lukuisilla viljelykasveilla selvisi nopeasti ja booraksista tuli yleinen, kaupallinen lannoite 1930-luvulla. Aivan alusta boorilannoitus ei kuitenkaan alkanut, sillä jo 1500-luvun alussa Euroopassa on käytetty Keski-Aasiasta tuotua booraksia (BERGER 1949). Pohjois-Amerikassa oli 1910-luvulla "boorilannoituksella" taloudellista merkitystä, kun kaliumlannoitteiden sisältämä boori vahingoitti viljelykasveja (SHIVE 1945).

Suomessa Jamalainen tutki 1930-luvulla ansiokkaasti boorin puutteesta johtuvia kasvitauteja ja niiden torjuntaa boorilannoituksella. Hän osoitti lantun ruskotaudin johtuvan boorin puutteesta ja olevan boorilannoituksella torjuttavissa (JAMALAINEN 1935a) sekä selvitti omenan kuoppataudin (JAMALAINEN 1936a) ja juurikkaiden sydänmädän (JAMALAINEN 1936b ja 1949) torjuntaa boorilannoituksella.

Myöhemmin boorilannoituksen tarve on osoitettu Suomessa mm. apilapitoisilla rehunurmilla (TAINIO 1951 ja 1955), kevättrypsillä ja muilla ristikkukaisilla öljykasveilla sekä punajuurella ja juurisellerillä (SALMINEN 1952), keltasinapilla (KOSKINEN 1952), syysrypsillä (TAINIO 1957), punajuurella ja lantulla (SALONEN 1961), ohralla (TAINIO 1961, SIMOJOKI 1969 ja 1972), puna-apilan siementuotannossa (SALMINEN 1959, HÄNNINEN 1966), sokerijuurikkaalla (BRUMMER 1965), kevätviljoilla (TÄHTINEN 1974), kurkulla ja tomaatilla (PUUSTJÄRVI 1980) ja männyllä (VEIJALAINEN 1981). HEINOSSEN (1961) mukaan boorin puutos on aiheuttanut rahkasuolla kauran raudanpuutostautia.

Muiden kasvien osalta Suomessa saadut tulokset ovat muissa maissa saatuihin tuloksiin verrattavia, mutta viljoilla ei yleensä ole todettu yhtä selvää boorilannoitustarvetta kuin Suomessa ohralla (TAINIO 1961, SIMOJOKI 1969 ja 1972). Äskettäin on tosin Kiinasta raportoitu boorin puutteen liittyneeseen kevätvehnän täydelliseen tyhjätähkäisyyteen (LU 1981). Nykyisin Suomen peltojen booritila on kaikkiin moniravinteisiin väkilannoitteisiin vuodesta 1972 alkaen lisätyn boorin ansiosta oleellisesti parempi kuin 12 vuotta sitten (KURKI 1982, KÄHÄRI 1983).

2. Boorin tehtävät kasveissa

Riittämätön boorin saanti aiheuttaa häiriöitä ensin niissä kasvin osissa,

joissa solujen jakaantuminen ja kasvu on nopeinta, kuten verson kärjessä (WARRINGTON 1923 ym.) ja juurikkaiden sydänlehdissä (BRANDENBURG 1931, JAMALAINEN 1936b ja 1949). Lantun ruskotautia esiintyy lievissä tapauksissa enemmän suurissa kuin pienissä lantuissa (JAMALAINEN 1935a), jotka ovat kasvaneet hitaammin kuin suuret. Brassica-lajeilla juuren kasvu on hidastunut boorin puutteesta enemmän kuin verson kasvu ja juuren kärki on kuollut ennen kuin verson kärki (CHANDLER 1941). Boorin puutteesta johtuva lehtien kloroottisuus tai harvemmin punerrus on tavallisesti voimakkainta nuorissa lehdissä (CHANDLER 1941, SHORROCKS 1982).

Kasvin kehityksen suvullisessa vaiheessa boorin tarve on suurempi kuin kasvullisen kehityksen aikana. Booria tarvitaan verrattain runsaasti mm. siitepölyn itämiseen ja siiteputken kasvuun, ja boorilannoitus on paljon tärkeämpi tuotettaessa siemeniä kuin tuotettaessa muita kasvin osia (GAUCH ja DUGGER 1954). HASLERin ja MAURIZION (1949) kokeessa rapsin ja sinapin varsisato ei pienentynyt lainkaan boorin puutteen vähentäessä siemensadon alle puoleen normaalista. Rapsi muodosti boorin puutteessa elinvoimaista siitepölyä, mutta emikukat eivät hedelmöittyneet ja kehittyneet normaalisti. Etelä-Savon koeaseman kokeissa boorilannoitus lisäsi keltasinapin siemensadon jopa yhdeksänkertaiseksi suurentamatta varsisatoa lainkaan (KOSKINEN 1952). Pohjois-Saksassa boorilannoitus lisäsi rapsin siemensatoa vähemmän kuin siementen lukumäärää, koska boorin puutteen harventamat siemenet kasvoivat suuremmiksi (TEUTEBERG 1978).

Juuren pituuskasvu hidastuu muutaman tunnin kuluttua boorin saannin loppumisesta, kun solujen jakautuminen estyy ja solujen kasvu juuren pituussuuntaan vähenee (COHEN ja LEPPER 1977). Boori on välttämätöntä solujen erilaisumisessa. Ilman sitä solut jäävät perussolukon solujen kaltaisiksi, johtojänteiden muodostuminen estyy, mutta jällessä solujen jakautuminen saattaa kiihtyä (KORONOWSKI 1961b, BUSSLER 1964, PISSAREK 1980). Boorin puutteessa juuret jäävät lyhyiksi, mutta erityisesti sivujuuret kasvavat tavallista paksumiksi (CHANDLER 1941, KORONOWSKI 1961a). KROSINGin (1978) mukaan juuren kärjen mekaaninen vioittaminen aiheuttaa samanlaista paksuuntumista kuin sen kasvun pysähtyminen boorin puutteessa.

Solujen seinien hienorakenne on boorin puutteessa normaalista poikkeava (MENGEL ja KIRKBY 1978) ja seinät ovat paksuuntuneita (PILBEAM ja KIRKBY 1983). Sairaissa solukoissa on sokereita normaalia vähemmän ja typestä on tavallista

suurempi osa ei-proteiinityypinä (JAMALAINEN 1935a, GAUCH ja DUGGER 1954).

Boorin biokemiallisesta vaikutusmekanismista molekyyalitasolla ei vielä paljon tiedetä (CLARKSON ja HANSON 1980). GAUCH ja DUGGER (1953) osoittivat, että boori tehostaa sakkaroosin siirtymistä soluihin ja esittivät teorian, jonka mukaan boorin tehtävänä on kuljettaa sokeria boraatti-kompleksina solun kalvojen läpi ja että boorin puutosoireet ovat sokerin puutteen seurauksia. Myöhemmissä kokeissa on teorian mukaisesti osoitettu yhteyttä tuotteita kertyvän lehtiin boorin puutteessa tavallista runsaammin, mutta kasvupisteiden kehityshäiriöiden arvellaan johtuvan niiden omasta boorin tarpeesta (MENGEL ja KIRKBY 1978).

Boorihappomolekyylin taipumusta reagoida polyhydroksidihdisteiden, erityisesti cis-diolien kanssa on käytetty johtolankana boorin toimintaa jäljitettäessä (CLARKSON ja HANSON 1980). LEE ja ARONOFF (1967) osoittivat boraatin liittyvän 6-fosfoglukonihappoon ja estävän siten 6-fosfoglukonaattidehydrogenaasi-entsyymin toimintaa ja säätelevän glykolyysin ja pentoosifosfaattikierron osuutta sokerien hapettumisessa. Nopeuttamalla pentoosifosfaattikiertoa boorin puutos aiheuttaa fenolien kertymistä ja solukoiden tummumista.

SHKOLNIK ja ILINSKAJA (1975) havaitsivat 6-fosfoglukonaattidehydrogenaasiaktiivisuuden kasvua ja fenolien kertymistä runsaasti booria tarvitsevilla kaksisirkkaisilla kasveilla, mutta eivät vähän booria tarvitsevilla viljakasveilla. Kaksisirkkaisilla kasveilla boorin puutteessa kasvaa myös polyfenolioksidaasiaktiivisuus ja hapettuneita fenoleja eli kinoneja kertyy (SHKOLNIK ym. 1981).

Kasvien normaali nukleiinihappoaineenvaihdunta edellyttää boorin läsnäoloa soluissa. JOHNSON ja ALBERT (1967) mittasivat boorin puutteessa hitaasti kasvavista tomaatin juuren kärjistä alentuneita RNA-pitoisuuksia. RNA:n rakenteeseen kuuluvaa pyrimidiiniä (tymiiniä, guaniinia tai sytosiiniä) lisäämällä voitiin puutosoireita ja RNA:n vähenemistä estää. Boorin välitöntä osallistumista nukleiinihappojen muodostukseen ei ole kuitenkaan voitu varmistaa (BIRNBAUM ym. 1977, WAINWRIGHT ym. 1980, LOVATT ym. 1981, PILBEAM ja KIRKBY 1983).

Boori on ainoa kasveille välttämätön alkuaine, jota ei ole osoitettu eläimille normaaleissa olosuhteissa tarpeelliseksi. Se on kuitenkin vähentänyt fluorin myrkyllisyyttä kaneilla (ELSAIR ym. 1982). Ilmeistä on, että kasvit tarvitsevat booria niissä solukoissa ja aineenvaihdunnoissa, jotka ovat erilaisia kuin booria tarvitsemattomissa eliöissä. Ligniiniä sisältämättömien kas-

vien ei joitakin piileviä lukuunottamatta tiedetä tarvitsevan booria, joka saattaa osallistua ligniinin synteesiin (PILBEAM ja KIRKBY 1983).

Glukoosista on boorin puutteessa muodostunut normaalia vähemmän selluloosaa (β -1,4-glukaanina) ja normaalia runsaammin β -1,3-glukaanina (DUGGER ja PALMER 1980), jota boorin puutteessa soluihin saostuva kolloosi on (PILBEAM ja KIRKBY 1983).

Indolietikkahapon eli "auksiinin" aktiivisuuden on havaittu boorin puutteessa kasvavan, ja mahdollista on, että puutosoireet johtuvat indolietikkahapon ylimäärästä (BOHNSACK ja ALBERT 1977). Siementen itämistä estävää boorin vaikutusta on voitu vähentää gibberelliinillä (JIMENEZ-LUCENA ja BAREA 1979).

Viimeaikaisten tutkimusten perusteella tiedetään melko varmasti, että boori vaikuttaa välittömästi solun kalvojen ja siihen kiinnittyneiden entsyymien toimintaan (CLARKSON ja HANSON 1980, PILBEAM ja KIRKBY 1983). Boori edistää ilmarakojen avautumista tehostamalla huulisolujen aktiivista kaliumin ottoa (ROTH-BEJERANO ja ITAI 1981). Boorin puutetta kärsivän kasvin kaliumin- ja fosforinottokyvyn jokseenkin välitön palautuminen booria lisättäessä viittaa kalvojen olevan primäärinen vaikutuspaikka, ja yksiarvoisten kationien kalvojen läpi siirtämiseen osallistuvien kalvoon kiinnittyneiden ATP-aasiin *in vitro* -aktiivisuuden on osoitettu riippuvan boorista, joka ylläpitää myös kalvojen sähköistä potentiaalia (PILBEAM ja KIRKBY 1983). TANADAn (1983) äskettäin julkaisemien analyysitulosten mukaan solun kalvot sisältävät enemmän booria kuin solun muut osat.

3. Tutkimuksen tarkoitus

Suomessa nykyisin viljeltävät öljykasvit, kevättrypsi (*Brassica campestris*) ja kevätrapsi (*Brassica napus*), ovat aikaisemman tiedon perusteella boorin suhteen vaateliaita kasveja. Maamme maaperän tiedetään sisältävän luonnostaan booria liian niukasti näin vaateliaille kasveille. Kevätöljykasvien boorilannoitusta on Suomessa tutkittu hyvin vähän. Rypsilä on ollut muutamia kokeita, mutta rapsilla ei lainkaan. Nykyisellä sijoituslannoitustekniikallamme boorilannoitusta ei ole tutkittu missään. Öljykasvien viljelyn laajentuminen noin 60 000 hehtaariin vuodessa on lisännyt niiden lannoitukseen taloudellista merkitystä.

Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastossa aloitettiin vuonna 1980 öljykasvien boorilannoitustutkimus, jossa selvitettiin öljykasvien boorilannoitustarvetta lannoitussuosituksia varten. Tutkimukseen kuului neljä kolmivuotista kenttäkoetta sekä useita yksi- ja monivuotisia astiakokeita. Kokeilla tutkittiin maan booritilan arviointia, lisätyn boorin pidättymistä maahan ja liikkumista maaprofiileissa sekä öljykasvien boorinottoa ja boorin vaikutusta öljykasvien kasvuun ja siemensatoon.

Boorilannoitustarpeen vertailua varten astiakokeissa viljeltiin öljykasvien rinnalla muita peltokasveja. Boorilannoituksen perusteiden selvityksissä nojaututtiin suurelta osin muilla kasveilla tehtyihin tutkimuksiin, koska öljykasveista olevat tiedot eivät yksinään ole riittävän kattavia. Tulosten edustavuuden laajentamiseksi kaksi kenttäkokeista suoritettiin koasemilla.

II AINEISTO JA MENETELMÄT

1. Kenttäkokeet

Monivuotisten kenttäkokeiden maan ominaisuuksia esitetään taulukossa 1. Rae-koostumus määritettiin ELOSEN (1971) pipettimenetelmällä ja orgaaninen hiili kuivapoltoilla (SIPPOLA 1982), pH mitattiin potentiometrisesti lasielektrodeilla, makroravinteet analysoitiin happamalla ammoniumasetaatilla uuttaen (VUORINEN ja MAKITIE 1955) ja boori kuumalla vedellä uuttaen jäljempänä esitetyllä tavalla. Muut tutkimuksen maa-analyysit kuin boori- ja $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ -määritykset on tehty Maantutkimusosastossa.

Jokioisten aitosavelle vuonna 1980 perustetulla kolmivuotisella rypsin boorilannoituskokeella tutkittiin boorimäärien ja lannoitustapojen vaikutuksia. Koejäsenet muodostettiin käyttämällä sijoituslannoituksessa booripitoisuudeltaan erilaisia mutta muiden ravinteiden suhteen samanlaisia Y-lannoksia (NPK 16-7-13) sekä ruiskuttamalla solubooria (20,5 % B) vesiliuoksena maahan ennen kylvölannoitusta ja nuoreen kasvustoon.

Taulukko 1. Koepaikkojen maan raekoostumus ja orgaaninen hiili (%) sekä happamuus (pH) ja ravinteisuus (mg/l). Luvut ovat vähintään neljän näytteen keskiarvoja.

| | Jokioinen Aitosavi | Jokioinen Hiuesavi | Mietoinen Hieta | Kokemäki Hiue |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Saves | 70 | 43 | 26 | 24 |
| Hieno hiesu | 9 | 14 | 6 | 14 |
| Karkea hiesu | 6 | 12 | 8 | 17 |
| Hieno hieta | 4 | 15 | 21 | 16 |
| Karkea hieta | 3 | 7 | 37 | 26 |
| Hieno hiekka | 3 | 4 | 2 | 3 |
| Karkea hiekka | 5 | 5 | - | - |
| Hiili | 4,1 | 3,1 | 1,8 | 1,8 |
| pH (H ₂ O) | 6,3 | 6,2 | 5,7 | 6,2 |
| pH (CaCl ₂) | 5,6 | 5,5 | 5,0 | 5,4 |
| Fosfori | 12 | 19 | 11 | 11 |
| Kalium | 380 | 240 | 170 | 150 |
| Kalsium | 2900 | 2000 | 1100 | 1500 |
| Magnesium | 550 | 360 | 120 | 290 |
| Boori | 0,69 | 0,97 | 0,62 | 0,64 |

Boorimäärä ja -lannoitustapa -kokeessa käytetyt Y-lannokset olivat normaali Y-lannos (0,05 % B), booripitoinen Y-lannos 2 (0,2 % B) ja edellisten seos (0,1 % B) sekä Kemira Oy:n koetehtaassa valmistetut "booriton" Y-lannos (0,01 % B) ja 0,4 % B sisältävä Y-lannos. Lannoitemäärä oli kahtena ensimmäisenä vuonna 700 kg/ha (=112 N, 50 P ja 90 K). Kolmantena vuonna koko koelalalle sijoitettiin oulunsalpietaria 364 kg/ha (=100 N).

Koejäsenet olivat:

| | NPK:n | Solubooriruisk. | Booria, kg/ha | | |
|---|-------|-----------------|---------------|------|------|
| | B-% | B, kg/ha | 1.v. | 2.v. | yht. |
| a | 0,01 | - | 0,07 | 0,07 | 0,14 |
| b | 0,05 | - | 0,35 | 0,35 | 0,70 |
| c | 0,01 | 0,35 kasvustoon | 0,42 | 0,42 | 0,84 |
| d | 0,10 | - | 0,70 | 0,70 | 1,40 |
| e | 0,01 | 0,70 " | 0,77 | 0,77 | 1,54 |
| f | 0,20 | - | 1,40 | 1,40 | 2,80 |
| g | 0,01 | 1,4 maahan | 1,47 | 0,07 | 1,54 |
| h | 0,40 | - | 2,80 | 2,80 | 5,60 |
| i | 0,01 | 2,8 " | 2,87 | 0,07 | 2,94 |
| j | 0,40 | 2,8 " | 5,60 | 2,80 | 8,40 |

Kasvustoon solubooria ruiskutettiin vuonna 1980 koejäsenille c ja e 19.6. kukinnan ollessa alkamassa ja jälkimmäiselle uudestaan 27.6. Valmistetta ruiskutettiin kerrallaan 1,7 kg/ha 0,49 % liuoksena (0,1 % B) 350 litrassa vettä. Vuonna 1981 soluboori ruiskutettiin kukinnan alussa 9.7. Suurempi määrä annettiin kahden ruiskutuskerran asemesta kaksi kertaa väkevämpänä (0,2 % B) liuoksena.

Muilla kenttäkokeilla, jotka aloitettiin vuonna 1981, tutkittiin boorilannoituksen ja kalkituksen vaikutuksia rypsiin ja lisätyn boorin käyttäytymistä maassa. Lannoituskäsittelyinä olivat kaikissa kokeissa boorimäärä ja lannoitustapa -kokeen koejäseniä a, b ja f vastaavat lannoitukset. Neljäs lannoituskäsittely oli boori-varastolannoitus ensimmäisenä vuonna. Mietoisissa vastaava käsittely toistettiin kuitenkin vuosittain, ja siellä oli viidentenä lannoitusjäsenenä normaali Y-lannos täydennettynä solubooriruiskutuksella taimille.

Boorilannoitus-kalkituskokeissa Y-lannosmäärä oli Jokioisissa 700 kg/ha, Lounais-Suomen koeasemalla Mietoisissa 625 kg/ha ja Satakunnan koeasemalla Kokemäellä 600 kg/ha. Muut kuin varastolannoitus toistettiin samalla tavalla kaikkina kolmena vuonna, paitsi että Jokioisissa käytettiin kolmantena vuonna Maatalouspalvelu Oy:n toimittamaa romanialaista "normaali Y-lannosta", jonka booripitoisuus oli vain noin 0,0015 %. Varastolannoituksena annettu boorimäärä oli nelinkertainen booripitoisen Y-lannoksen boorimäärään verrattuna, Jokioisissa 5,6 kg, Mietoisissa 5,0 kg ja Kokemäellä 4,8 kg booria

hehtaarille. Boori ruiskutettiin Jokioisissa solubooriliuoksena maahan ennen kylvölannoitusta, Mietoisissa kylvettiin maahan ennen kylvömuokkausta ja Kokemäellä kylvettiin kylvölannoituksen jälkeen käsin hiekkaan sekoitettuna lannoiteboraattina.

Kalkitukseen käytettiin kalkkikivijauhetta Jokioisissa 10 t/ha, Mietoisissa 8 t/ha ja Kokemäellä 7 t/ha. Kalkin booripitoisuus oli 2 M HCl:llä liuottaen tehdyn analyysin mukaan Jokioisissa 9 mg/kg (= grammaa tonnissa), Mietoisissa 13 mg/kg ja Kokemäellä 102 mg/kg. Kalkki levitettiin ensimmäisen koevuoden keväällä ja mullattiin kylvömuokkauksella. Kaikki lannoitukset toistuivat samanlaisina ilman kalkitusta ja kalkituksen kanssa.

Kokeet perustettiin neljällä kerranteella lohkoittaisen menetelmän mukaisesti, mutta ei kuitenkaan täysin vapaasti arpoen, vaan kiinnittäen huomiota koejäsenten tasapainoiseen sijoittamiseen ja äärimmäisten lannoitustasojen rinnakkain joutumista välttämällä. Boorilannoitus-kalkituskokeissa kalkitus oli pääruudun ja boorilannoitus osaruudun tekijänä. Ruudun koko oli Jokioisissa 2,2 m x 16,0 m, josta leveydestä kylvettiin ja korjattiin 2,0 m (1983 1,5 m). Mietoisten 2,5 m x 10,0 m:n ja Kokemäen 2,0 m x 16,0 m:n ruuduilta korjattiin 1,5 m:n levyinen puintikaista.

Kenttäkokeissa viljellyt lajikkeet sekä kylvö- ja leikkuupuintipäivät on esitetty taulukossa 2. Siementä kylvettiin normaali määrä. Jokioisissa sadot lajiteltiin ja punnittiin tuoreena, muilla paikoilla kuivattuina. Normaali kosteutta (9 %) vastaavat sadot laskettiin kosteusmääritysten perusteella, Jokioisissa ruuduittain, muilla koepaikoilla koejäsenittäin. Rikkakasveja ja rap-sikuoriaisia torjuttiin kemiallisesti. Rypsimonokulttuurin näkyvin haitta oli pihatähtimön runsastuminen Jokioisten hiuesavella. Kokemäen kokeesta löydettiin kolmantena vuonna muutamia möhöjuuritautisia rypsiyksilöitä.

Siemensadoista määritettiin öljypitoisuus Newport analaiser Mk IIIA NMR-laitteella ja tuhannen siemenen paino. Vuoden 1981 sadosta määritettiin typpipitoisuus Kjeldahl-menetelmällä (Tecator-laitteella), klorofyllipitoisuus kolorimetrisesti heptaani-etanoliiuutteesta ja booripitoisuus. Rypsin boorin saannin seuraamiseksi kasvustosta otettiin näytteitä, eniten lehtinäytteitä kukkivasta rypsistä. Osasta näytteitä määritettiin booripitoisuuden lisäksi kalsiumpitoisuus, ja joistakin näytteistä määritettiin muidenkin makroravinteiden pitoisuuksia. Maanäytteitä otettiin boorin liikkumisen ja booritilan muutosten seuraamiseksi kerroksittain ensimmäisenä koevuonna rypsin ollessa taimella ja sadonkorjuun jälkeen sekä keväällä 1982 ennen kylvöä sekä kokeiden lopussa.

Taulukko 2. Kenttäkokeiden lajikkeet sekä kylvö- ja leikkuupuintipäivät.

| | | Jokioinen Aitosavi | Jokioinen Hiuesavi | Mietoinen Hieta | Kokemäki Hiue |
|------|--------|-----------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| 1980 | Lajike | Candle | | | |
| | Kylvö | 15.5. | | | |
| | Puinti | 8.9. | | | |
| 1981 | Lajike | Ante | Ante | Torch | Ante |
| | Kylvö | 21.5. | 17.5. | 26.5. | 20.5. |
| | Puinti | - | 7.9. | 25.9. | 9.9. |
| 1982 | Lajike | Ante | Ante | Ante | Ante |
| | Kylvö | 3.6. | 13.5. | 26.5. | 21.5. |
| | Puinti | - | 9.9. | 14.9. | 15.9. |
| 1983 | Lajike | | Emma | Emma | Emma |
| | Kylvö | | 7.5. | 20.5. | 30.5. |
| | Puinti | | 25.8. | 3.9. | 20.9. |

Kasvustoon ruiskutettu 0,5-1,0-prosenttinen solubooriliuos vahingoitti Jokioissa rypsin lehtiä. Mietoissa kasvustoruiskutus aiheutti vuonna 1983 rypsin lakoontumista. Jokioisten hiuesavella varastolannoitus (5,6 kg B/ha) muutti tainten värisävyn käsittelyvuonna hiukan ruskeankeltaisemmaksi. Kokemäellä kylvön jälkeen maan pinnalle levitetty lannoiteboraatti hidasti lannoitusvuonna tainten kasvua selvästi, mutta rypsi toipui myrkytyksestä aika hyvin. Muita vaikutuksia kasvustoon boorilannoituksella ei varmuudella todettu. Kukinnan kesto pikemminkin piteni kuin lyheni boorilannoituksen lisääntyessä.

Ilmastotietoja koejakson kasvukausilta esitetään taulukossa 3. Jokioisten tiiviille aitosavelle useina kesinä esiintyneet runsaat sateet muodostivat jopa useita vuorokausia pysyneitä lammikoita ja aiheuttivat niin epätasaisen kasvun, ettei edustavia satotuloksia saatu. Ruutusadot korjattiinkin tästä kokeesta vain ensimmäisenä vuonna, mutta kokeen viljelyä jatkettiin boorin maassa liikkumisen seuraamista varten.

Taulukko 3. Kasvukauden lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) ja sademäärä (mm) Jokioisissa kuukausittain (ANON. 1980-1983).

| Kuukausi | 1931-60 | | 1980 | | 1981 | | 1982 | | 1983 | |
|----------|--------------------|----|--------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|----|
| | $^{\circ}\text{C}$ | mm | $^{\circ}\text{C}$ | mm | $^{\circ}\text{C}$ | mm | $^{\circ}\text{C}$ | mm | $^{\circ}\text{C}$ | mm |
| IV | 2,2 | 33 | 4,7 | 15 | 0,9 | 7 | 2,1 | 43 | 4,8 | 22 |
| V | 8,8 | 39 | 7,0 | 20 | 11,2 | 19 | 8,5 | 71 | 11,0 | 44 |
| VI | 13,7 | 42 | 16,4 | 131 | 12,1 | 115 | 11,2 | 25 | 13,3 | 84 |
| VII | 16,2 | 70 | 16,2 | 36 | 16,2 | 104 | 16,4 | 84 | 16,6 | 41 |
| VIII | 14,7 | 74 | 13,9 | 76 | 13,5 | 88 | 15,6 | 111 | 15,0 | 58 |
| IX | 9,7 | 61 | 10,5 | 58 | 9,5 | 15 | 9,7 | 67 | 11,0 | 86 |

2. Astiakokeet

Maan booritilan arvioinnin tutkimista varten perustettiin keväällä 1980 astiakoe, jossa viljeltiin rypsiä 30 maalla. Maaeristä 12 otettiin samana keväänä Jokioisten ja Lappi Tl:n pelloista, loput olivat aikaisempia astiakokeita varten otetuista säästettyjä, eri osista Suomea otettuja maita. Aineisto pyrittiin saamaan mahdollisimman vaihtelevaksi ja kaikkia maalajeja edustavaksi. Maat ovat pellon kyntökerrosta, lukuunottamatta eriä 3, 22 ja 28. Keskimääräisiä maan ominaisuuksia on esitetty taulukossa 4. Tarkempia tietoja maaeristä on liitteissä 1-3 (s. 128-130). Tilavuuspaino on laskettu punnitun maamäärän ja koeastioista syksyllä 1980 mitatun tilavuuden perusteella. Muut astiakokeiden maa-analyysit on tehty samoin kuin kenttäkokeissa.

Koetta viljeltiin ensimmäiset kaksi vuotta ilman boorilannoitusta. Kolmantena vuonna kahdesta kerranneastiasta toiseen lisättiin booria 4 mg eli noin 0,8 mg/litra maata.

Boorilannoituksen ja kalkituksen vaikutuksia, erityisesti niiden keskinäisiä vuorovaikutuksia selvitettiin useilla astiakokeilla. Vuonna 1980 aloitettiin koe Tikkurilan hiuesavella (edellisen kokeen maaerä 5), Tohmajärven hietamoreenilla (ed. kokeen maa 20) ja Pelson saraturpeella (ed. kokeen maa 29) koe-käsittelyinä boorilannoitus (0 ja 10 mg B/astia) ja kalkitus (0, 12 ja 24 g CaCO_3 /astia). Koekäsittelyjä ei seuraavina vuosina toistettu, mutta alussa ilman kalkkia jääneisiin hietamoreeniastioihin lisättiin keväällä 1981 kalkkia 6 g. Kokeessa oli kolme kerrannetta.

Taulukko 4. Maan booritestaus -astiakokeen maaeräaineisto, keskiarvo \pm keskihajonta.

| Maalaji | Eriä kpl | Org. C % | Saves % | Tilav.paino g/cm ³ | pH (H ₂ O) |
|----------------|-------------|-----------------|-------------|----------------------------------|--------------------------|
| Savet | 8 | 4,9 \pm 3,6 | 50 \pm 15 | 0,80 \pm 0,16 | 6,0 \pm 0,6 |
| Kark. kiv.maat | 14 | 2,5 \pm 1,2 | 10 \pm 9 | 1,00 \pm 0,14 | 5,7 \pm 0,8 |
| Eloper. maat | 8 | 33,6 \pm 10,3 | - | 0,28 \pm 0,16 | 4,8 \pm 0,5 |
| Kaikki maat | 30 | 11,4 \pm 14,7 | - | 0,75 \pm 0,33 | 5,5 \pm 0,8 |

| | Fosfori mg/l | Kalium mg/l | Kalsium mg/l | Magnesium mg/l | Boori mg/l |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Savet | 19 \pm 21 | 260 \pm 140 | 2450 \pm 840 | 430 \pm 250 | 0,83 \pm 0,27 |
| Kark. kiv.m. | 21 \pm 30 | 130 \pm 60 | 1230 \pm 760 | 110 \pm 60 | 0,54 \pm 0,26 |
| Eloper. maat | 8 \pm 3 | 80 \pm 41 | 1540 \pm 1110 | 250 \pm 160 | 0,47 \pm 0,14 |
| Kaikki maat | 17 \pm 23 | 150 \pm 110 | 1640 \pm 990 | 230 \pm 210 | 0,60 \pm 0,27 |

Edellisiä kokeita viljeltiin rinnakkain samalla tavalla. Vuonna 1980 kokeet kylvettiin 14.-16.5., korjattiin täydessä kukassa 23.6., kylvettiin uudestaan 26.6. ja korjattiin taas kukkivana 5.8. Vuodesta 1981 alkaen rypsit harvennettiin noin 15 cm:n korkuisina 10 yksilöön astiassa ja kasvatettiin tuleentuneiksi. Kylvö- ja korjuupäivät olivat vuonna 1981 13.-16.5. ja 20.-24.8., 1982 19.5. ja 23.-24.8.

Pelson saraturpeella boori-kalkituskoetta ei jatkettu enää vuonna 1982, mutta sen sijaan aineistoa täydennettiin viidellä maalla yksivuotisilla kokeilla, joissa boorilannoitukset olivat 0 ja 4 mg/astia ja kalkitukset 0 ja 36 g/astia. Maalajit ja maan kuumavesiliukoisen boorin pitoisuudet olivat: HeS 1,11 mg/l, He 0,64 mg/l, Ht 0,56 mg/l, HHT 0,22 mg/l ja Ct 0,21 mg/l. Kolme ensimmäistä maata ovat boorilannoitus-kalkitus -kenttäkokeista ja kaksi viimeistä astiakokeissa 1-2 vuotta ilman booria viljeltyjä maita. Kalkitulla saraturpeella viljeltiin vertailukasvina Pomo-ohraa.

Vuosina 1981-82 toteutettiin laajempi rypsin boorilannoitus- ja kalkituskoee, jossa boorilannoitustasot olivat 0, 4 ja 16 mg/astia ja CaCO₃-määrät 0, 12, 36 ja 108 g/astia. Kalkituskäsittelyinä olivat lisäksi 12 ja 36 g CaCO₃:n

kanssa ekvivalentit 16,4 ja 49,2 g CaSO₄ sekä 12 g CaCO₃:n kanssa ekvivalentti MgCO₃-K₂CO₃-NaOH-kalkitus, jossa Mg:K:Na-ekvivalenttisuhteet olivat 2:1:1. Viljelymaana kokeessa oli Jokioisten hapanta hietasavea (org. C 3,4; saves 47, HHs 7, KHs 9, HHT 20, KHT 9 ja Hk 8 %; pH_{H₂O} 5,5; P 5, K 240, Ca 1400, Mg 350 ja B 0,52 mg/l). Rypsi kylvettiin ja korjattiin vuonna 1981 19.5. ja 20.-21.8. ja 1982 18.5. ja 23.8. Kokeessa oli neljä kerrannetta.

Kalkkimäärien ja pH-muutosten vaikutusten tarkempaa selvittämistä varten suoritettiin kesällä 1982 astiakoe koejäseninä seuraavat kalkitukset: 0, 2, 5, 10, 15 ja 20 g CaCO₃ ja 28 g CaCl₂/l. Kloridi huuhdottiin pois valuttamalla maan läpi vettä kaksi kertaa sen tilavuus. Boorilannoitustasot olivat 0 ja 2 mg B/l. Kokeessa kasvatettiin pienissä (0,5 l) astioissa kolmella maalla rypsiä, joka korjattiin nuppuasteella noin 25 cm:n korkuisena. Maat olivat Jokioisten hieusavi ja Mietoisten savinen karkea hieta tutkimuksen kenttäkokeista (samoja eriä kuin toisessa astiakokeessa) sekä Jokioisten saraturve (pH_{H₂O} 4,9, booria 0,80 mg/l). Aluslannoituksena annettiin riittävästi muita ravinteita.

Maahan sekoitetun ja lehdille ruiskutetun boorin vaikutuksia rypsiin selvitettiin vuonna 1981 Rovaniemen saraturpeella (maan B-testaus-kokeen erä 30, kalkitus 6 g/astia) suoritettulla kokeella. Boorimäärät olivat 0, 1 ja 4 mg/astia. Molempia määriä sekoitettiin normaalilla tavalla maahan sekä ruiskutettiin laimeana vesiliuoksena lehdille nuppuasteella ja kukinnan aikana alalehdille ja ylhäältä koko kasville. Lisäksi kokeessa verrattiin rypsiä (Ante), rapsia (Topas) ja unikkoa (Soma) maahan sekoitetuilla boorimäärillä 0, 4 ja 16 mg/astia. Kylvöpäivät olivat rapsi ja unikko 20.5., rypsi 25.5. Rypsi korjattiin 1.9., jolloin rapsi ja unikko siirrettiin kasvihuoneeseen tuleentumaan. Kokeessa oli neljä kerrannetta.

Keväällä 1982 perustetulla kokeella vertailtiin boorilannoituksen (0 ja 4 mg/astia) vaikutuksia kasvilajeihin ja -lajikkeisiin kalkitulla Jokioisten saraturpeella (pH_{H₂O} 5,4; P 5, K 40, Ca 3600, Mg 560 ja B 0,85 mg/l). Lajikkeet olivat rypsit Ante, Emma, Span ja Vankka, rapsit Topas ja Lergo sekä Mikko-härkäpapu, Heikka-herne (vuonna 1983 Proco), Salohill-sokerijuurikas, Pito-peruna ja Pomo-ohra (ohralla B-lannoitus oli 2 mg). Muilla kasveilla kuin ohralla koetta jatkettiin vuonna 1983. Lajikkeet kylvettiin ja korjattiin normaaliin aikaan. Kokeessa oli kolme kerrannetta.

Alustavassa kokeessa vuonna 1980 tutkittiin öljykasvien boorinottoa ja booripitoisuutta rinnakkain viljeltyihin muihin kasveihin verrattuna. Vuonna 1983 selvitettiin Jokioisten aitosavikokeen pohjamaan booritilaa ja verrattiin ylisuurten boorimäärien vaikutuksia rypsiin ja muihin kasveihin.

Aluslannoitukseksi öljykasveille annettiin normaalisti keväällä maahan sekoittaen (milligrammoina astiaa eli noin viittä maalitraa kohti) 1500 N, 1500 K ja 400 P KNO_3 - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - NH_4NO_3 -liuoksena sekä 400 Mg, 600 S, 80 Na, 120 Cl, 20 Fe, 20 Cu, 20 Zn, 20 Mn ja 2 Mo MgSO_4 - NaCl - FeSO_4 - CuSO_4 - ZnSO_4 - MnSO_4 - Na_2MoO_4 - H_2SO_4 -liuoksena. Ammoniakin haihtumisen estämiseksi lisättiin edellinen liuos ensin ja jälkimmäinen liuos sen päälle. Toisesta vuodesta alkaen jälkimmäistä liuosta lisättiin puolet luetelluista määristä sisältävä annos. Kukinnan alkaessa astioihin lisättiin KNO_3 -liuosta ja muutamaa päivää myöhemmin $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -liuosta määrät, joissa yhteensä oli 500 mg kaliumia ja 500 mg typpeä. Boori lisättiin H_3BO_3 -liuoksena. Ravinnesuolat ja kalkki olivat pro analysi -kemikaaleja.

"Normaalilannoituksesta" poiketen vuoden 1980 kokeissa ja 1981 isossa kokeessa Jokioisten hietasavella KNO_3 ja NaCl korvattiin KCl :lla ja NH_4NO_3 :lla. Vuonna 1981 toista vuotta viljellyissä kokeissa liiallista maan happamuutta torjuttiin vaihtamalla NH_4NO_3 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:ksi siten, että typen määräksi tuli 2250 mg/astia. Kalium- ja typpilisäykset kasvustolle annettiin vain vuosina 1982-83 eikä silloinkaan ohralle.

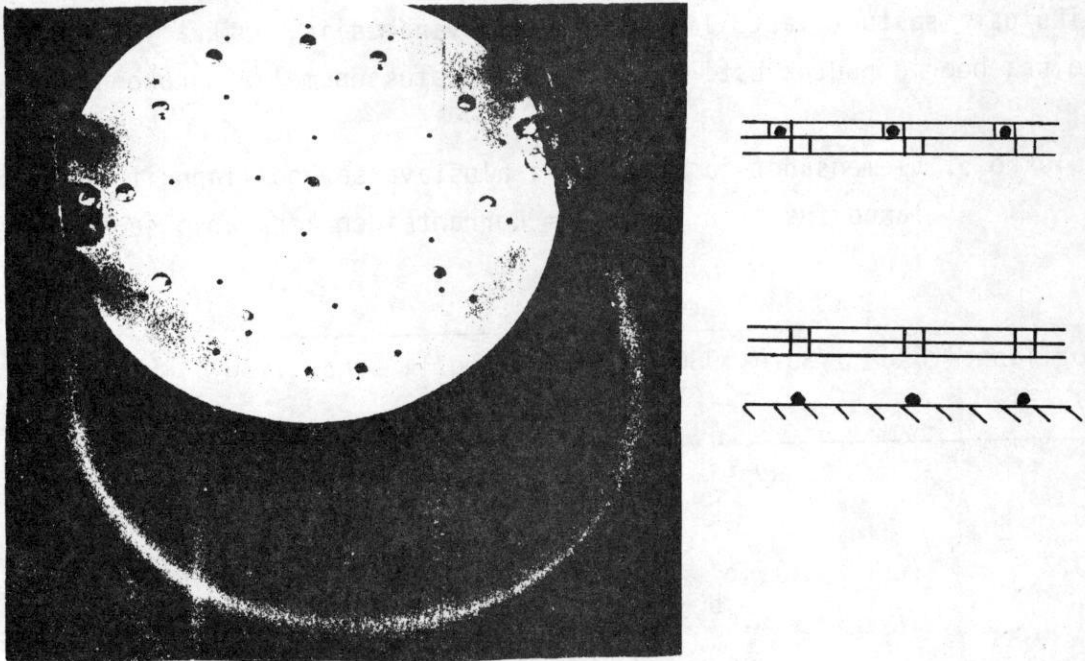
Kokeissa käytetyt astiat valmistettiin tavallisista kuuden litran muovisangoista tekemällä niiden pohjaan läpimitaltaan 15 mm:n reikä, jonka päälle asetettiin alassuon rei'itetty muovinen teevati tai vastaava. Astiat oli sovitettu pyörillä liikkuville pöydille, joissa niiden alla oli erillinen alusastia läpi valuneen veden keräämistä ja takaisin palauttamista varten. Kokeet kasvatettiin verkkoseinäisessä hallissa lasikaton alla.

Maa annosteltiin astioihin punnitsemalla huolellisesti homogenisoiduista eristä. Maata lisättiin noin viisi litraa astiaan. Kalkki ja ravinnesuolat sekoitettiin maahan perusteellisesti isommissa astioissa käsin. Täytettäessä astioita erotettiin siementen peittämiseen tarvittava maa, kaadettiin loppu maa astiaan kevyesti tiivistäen, tasoitetulle maan pinnalle asetettiin tarkoitusta varten valmistetulla laitteella (kuva 1) 25 siementä tasaisin välein ja peitettiin siemenet noin 1,5 cm:n syvyyteen.

Astiakokeet kasteltiin deionisoidulla vedellä. Itämis- ja taimettumisvaiheessa vettä lisättiin varovasti maan liettymisen estämiseksi. Haihduttavan lehtipinnan ollessa suurimmillaan öljykasveja piti kastella aurinkoisina, lämpiminä päivinä kaksi kertaa. Niiden veden tarve oli siten huomattavasti suurempi kuin viljojen, joilla riittää yksi kastelukerta päivässä. Sopivan kosteuden ylläpitäminen osoittautui vaativaksi tehtäväksi varsinkin vähämulltaisilla hie-

tamailla, jotka pyrkivät pakkaantumaan liian tiiviiksi. Selviä epäonnistumisia oli kuitenkin vain muutama astia.

Ennen tuleentumista korjatut rypsit kuivattiin kuivatusseuloilla 105°C :ssa. Tuleentuneet sadot kuivatettiin suurissa paperipusseissa lämpimässä varastossa, jolloin siemenet säilyivät elävinä. Kosteuden tasapainotuttua punnittiin ensin koko sato ja sitten erikseen pienoispumakoneella erilleen puidut siemenet. Erotuksena saatu varsisato sisältää myös tyhjät lidut. Tuleentumaton kasvusto ja varret jauhettiin sakolukumyllyllä ravinteiden kokonaispitoisuuksien määrittämistä varten.



Kuva 1. Rypsin ja rapsin "kylvökone". Päällimmäisen levyn reikiin vieritetyt siemenet pudotetaan maan pintaan siirtämällä molempien levyjen rei'ät vastakkain.

Vuoden 1980 tuleentumattomista sadoista määritettiin boori, typpi, fosfori, kalium, kalsium ja magnesium. Tämän työn typpimääritykset tehtiin Kjeldahl-tislausmenetelmään perustuvalla Tecator-laitteella ja muut ravinteet mitattiin boorimääritystä varten jäljempänä esitettävällä tavalla valmistetuista uutteista, fosfori vanadaattimenetelmällä ja kationit atomiabsorptiospektrofotometrisesti (KÄHÄRI ja NISSINEN 1970). Booripitoisuus määritettiin myös varsisadoista, harvennetuista taimista ja talteen otetuista kuivuneista lehdistä sekä

osasta siemensatoja. Joistakin edellisistä näytteistä määritettiin myös kalsiumpitoisuus.

Rypsi ja rapsi pudottavat lehtensä aikaisin kasvukaudella. Vuoden 1980 alustavissa kokeissa tähän ei osattu varautua, vaan lehtiä ja niiden mukana ilmeisesti melkoinen määrä booria siirtyi astiasta toiseen. Sitä osoittivat sekä astioiden maan booripitoisuudet syksyllä että jälkivaikutusvuoden siemensadot (taulukko 5). Rypsillem boorin myrkyllisyyden selvittämiseksi annetut suuret boorimäärät näyttävät joutuneen pudonneiden lehtien mukana osittain viereisiin astioihin, koska rypsin jälkeen saman hiedan booripitoisuudet olivat korkeampia kuin vähemmän booria maasta ottaneen ohran jälkeen. Eri astioihin tulleiden erilaisten boorimäärien takia jälkivaikutusvuoden siemensato vaihteli kerranteiden välillä rypsin ollessa esikasvina niin paljon, ettei boorin positiivista vaikutusta saatu tilastollisesti merkitsevänä esiin, vaikka yksittäisissä astioissa boorin puutos esti siementen muodostuksen melkein kokonaan.

Taulukko 5. Siemensadot ja maan boori alustavassa boorilannoituskokeessa. Boorilannoitus vain 1980. \bar{x} = kerranteiden keskiarvo ja s = keskihajonta.

| Boorilannoitus mg/astia | Sato 1980 | Maan B mg/l, syksy 1980 | | Sato 1981 | |
|----------------------------|-------------------|-------------------------|------|--------------------|----|
| | \bar{x} | \bar{x} | s | \bar{x} | s |
| | Rypsi | | | Rypsi | |
| 0 | 17,5 ^b | 0,41 ^a | 0,03 | 17,7 ^{ab} | 12 |
| 0,2 | 19,6 ^b | 0,36 ^a | 0,12 | 14,4 ^{ab} | 7 |
| 1 | 16,4 ^b | 0,38 ^a | 0,05 | 21,5 ^{ab} | 5 |
| 5 | 18,2 ^b | 0,72 ^b | 0,06 | 24,3 ^b | 6 |
| 25 | 17,6 ^b | 2,66 ^c | 0,49 | 23,9 ^b | 5 |
| 125 | 3,5 ^a | 17,60 ^d | 1,86 | 12,8 ^a | 2 |
| | Ohra | | | Rypsi | |
| 0 | 47,7 ^a | 0,23 ^a | 0,09 | 12,8 ^a | 2 |
| 0,2 | 50,1 ^a | 0,23 ^a | 0,07 | 13,4 ^a | 2 |
| 1 | 48,7 ^a | 0,33 ^{ab} | 0,08 | 25,3 ^b | 4 |
| 5 | 53,9 ^a | 0,49 ^b | 0,14 | 26,9 ^b | 1 |

Vuonna 1981 kuivuneet lehdet kerättiin pääosin ennen putoamista 2-3 päivän välein ja otettiin talteen astioittain. Menettely oli aika työläs eikä kaikkien lehtien joutumista oikeaan pussiin voitu täysin varmistaa. Kun aukottomiin boo-

ritaseisiin pääsemisen esteenä olivat lisäksi mm. tuulen kuljettamat terälehdet ja pöly, boorin mahdollinen haihtuminen ja kasteluvedessä tulevan boorin määrän arvioinnin epätarkkuudet, varisseet lehdet siivottiin myöhemmin vuosina lähes päivittäin pois, mutta niitä ei otettu talteen.

Tulosten tilastollisesti merkitsevät erot on merkitty taulukoihin yleisen tavun mukaisesti pienaakkosin tai tähdillä. Sama kirjain kahden luvun yläindeksinä osoittaa, että tulokset eivät poikkea Duncanin testin mukaan viiden prosentin riskillä toisistaan. Niissä kokeissa, joissa on ollut useita maaeriä, testaus on suoritettu maittain. Yksi tähti osoittaa riskin olevan varianssi-analyysin mukaan 1-5 %, kaksi tähteä 0,1-1 % ja kolme tähteä alle 0,1 %. Tähtien puuttuessa riski on yli 5 %. Graafisissa esityksissä tilastollinen liikkumavara on osoitettu janalla.

3. Boorin määrittäminen maa- ja kasvinäytteistä

Booripitoisuuden mittaamista varten kehitetyistä monista menetelmistä yleisimpiä ovat kolorimetriset menetelmät eli spektrofotometriset menetelmät, joissa mittaus suoritetaan näkyvän valon aallonpituudella. Värillisen kompleksiyhdisteen muodostamiseen boorihappomolekyylin kanssa on käytetty mm. atsometiini-H:ta, karmiinia, kurkumiiniä, diantrimidiä, metyleenisinistä (F:n kanssa) ja kinalitsariinia. Kurkumiinikompleksia on mitattu myös liekillisellä atomoabsorptiospektrofotometrillä, ja tavallisella liekkifotometrilläkin voidaan mitata suurehkoja boorikonsentraatioita 2-etyyliheksaani-1,3-dioli-kelaattina (SHORROCKS 1982).

Muita boorin määritysmenetelmiä ovat mm. potentiometrinen mittaus tetrafluoroboraattina (SHORROCKS 1982) ja fluorimetrinen määrittäminen, joka AZNAREZIN ym. (1983) mukaan on kaikkein herkin menetelmä ja soveltuu jopa nanogramman tasolle. Hyvä erotuskyky on myös uudella plasmaemissiospektrometrillä menetelmällä (SHORROCKS 1982), joka usean alkuaineen samanaikaiseen määrittämiseen soveltuva on ilmeisen käyttökelpoinen, mutta vaatii kalliin laitteen (GESTRING ja SOLTANPOUR 1981a ja 1981b).

Kasvifysiologisissa tutkimuksissa sopivan radionuklidin puuttumista on onnistuttu viime vuosina korvaamaan massaspektrometrisesti pysyvien luonnon isotooppien ^{10}B ja ^{11}B suhteella ja massaspektrograafisesti mittaamalla molemmat isotoopit erikseen (CHAMEL ym. 1981) sekä ^{10}B (n, α) ^7Li -ydinreaktiolla, jonka avulla on muodostettu boorin sijoittumisen osoittava radiogrammi jopa yksittäisestä solusta (KRAKKAI ja KÖRÖSI 1983).

Tässä työssä booripitoisuudet määritettiin atsometiini-H-menetelmällä. Tätä kolorimetristä menetelmää on kehitetty ja käytetty 1960-luvulla ensin Neuvostoliitossa ja myöhemmin Etelä-Afrikan tasavallassa (BASSON ym. 1969), ja sen jälkeen sitä on tutkittu ja käytetty ainakin Yhdysvalloissa (WOLF 1971 ym.), Sveitsissä (GUPTA ja STEWART 1975 ym.), Kanadassa (JOHN ym. 1975 ym.), Suomessa (SIPPOLA ja ERVIÖ 1977), Isossa Britanniassa (PORTER ym. 1981), Japanissa (WATANABE ym. 1981), Itävallassa (KUTSCHA-LISSBERG ja PRILLINGER 1982) ja Uudessa Seelannissa (SHERRELL 1983a).

Atsometiini-H-menetelmän nopea yleistyminen perustunee hyvään pienten pitoisuuksien erotuskykyyn ja riippumattomuuteen muista aineista (WOLF 1971, JOHN ym. 1975, PARKER ja GARDNER 1981), mutta ennen muuta vesiliuoksesta tapahtuvan mittauksen ansiosta helppoon ja turvalliseen suoritukseen (WOLF 1971, GUPTA 1979b). Muut kolorimetriset menetelmät vaativat värin muodostamiseksi väkevän rikkihapon tai orgaanisen liuottimen (SHORROCKS 1982). Vaikeasti määritettävän boorin erottamiseksi häiritsevistä aineista on käytetty mm. ioninvaihtoa (TUMMAVUORI ja KAIKKONEN 1982), ekstrahointia (WIKNER 1982) ja jopa tislausta (PHILIPSON 1953), mutta atsometiini-H-menetelmässä erotuskäsittelyjä ei yleensä tarvita. Atsometiini-H-menetelmää on sovellettu myös automatisoituun (BASSON ym. 1969, GUPTA ja STEWART 1978, PORTER ym. 1981) ja mikroanalyttiseen (LOHSE 1982) määritykseen.

Atsometiini-H-menetelmällä kasvi- ja maa-utesteista mitatut booripitoisuudet ovat menetelmien vertailuissa olleet hyvin samanlaisia kuin HATCHERin ja WILCOXin (1950) karmiinimenetelmällä (BASSON ym. 1969, GUPTA ja STEWART 1975, JOHN ym. 1975, SIPPOLA ja ERVIÖ 1977, GUPTA 1979b, PORTER ym. 1981) tai plasmaemissiospektrometrisesti (GESTRING ja SOLTANPOUR 1981a, PARKER ja GARDNER 1981) mitatut tai standardinäytteiden "tunnetut" (GAINES ja MITCHELL 1979, GESTRING ja SOLTANPOUR 1981a) booripitoisuudet. Myös tunnetun boorilisäyksen vaikutus on ollut lasketun suuruinen (SIPPOLA ja ERVIÖ 1977, PORTER ym. 1981). Märkäpoltetuista näytteistä atsometiini-H-menetelmä on antanut täysin virheellisiäkin tuloksia (WOLF 1974, GESTRING ja SOLTANPOUR 1981a).

Kehittäessään atsometiini-H-menetelmää kasvin booripitoisuuden määrittämistä varten BASSON ym. (1969) totesivat ainoiksi mahdollisesti häiritseviksi aineiksi raudan, kuparin ja alumiinin, ja näidenkin vaikutus voitiin poistaa EDTA-naamioinnilla. Soveltaessaan menetelmää maan boorianalyysiin (Morganin liuos eli Na-asetatti, pH 4,8) WOLF (1971) paransi naamiointikykyä runsaan alumiinin takia ja käytti aktiivihiiltä maa-utesteiden ja vetyperoksidihapetusta kasviutesteiden sameuden poistoon. Vetyperoksidi piti poistaa kvantitatiivisesti, sillä

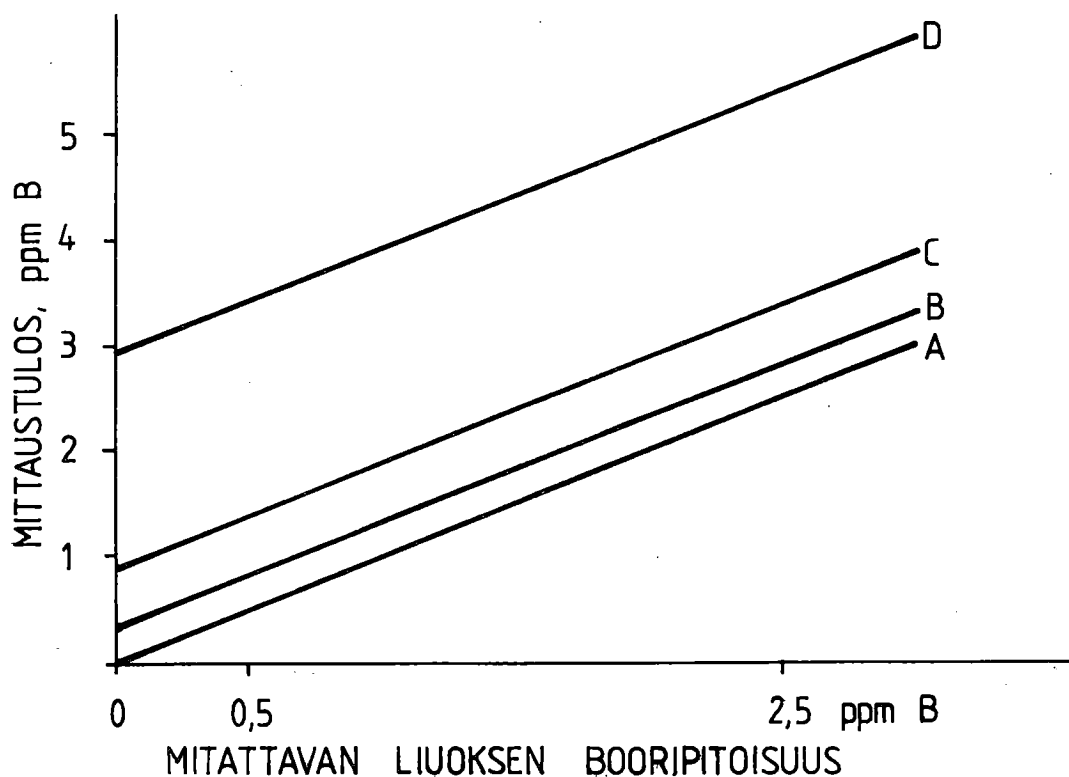
se oli erittäin haitallista määrityksessä. PORTERin ym. (1981) mukaan EDTA-naamioinnista (9,31 g Na₂EDTA/l) huolimatta V, Fe, Cr, Mn ja NO₂⁻ (mutta eivät Cu ja Al) aiheuttavat 500 mg/l konsentraatiolla huomattavan positiivisen virheen analyysitulokseen.

JOHN ym. (1975) mittasivat täsmälleen samanlaisella menetelmällä, jota tässäkin tutkimuksessa käytettiin, 200 mg/l ferriraudan aiheuttamaksi virheeksi 2 mg/l booriliuoksella +5 %, ja muilla ioneilla yhtä suuria virheitä vasta yli 2000 mg/l väkevyydellä (V, Cr, Mn ja NO₂⁻ eivät sisällyneet tähän selvitykseen).

Kirjallisuuden perusteella näyttää siltä, että muilla ioneilla ei olisi merkittävää vaikutusta tällä menetelmällä kasveista ja vedellä uuttaen maasta saataviin booripitoisuuksiin. Asian varmistamiseksi 0, 0,5 ja 2,5 mg/l booriliuokseen lisättiin 1 % K, 0,4 % Ca, 0,2 % Mg, 0,2 % P, 0,2 % S, 0,1 % Al, 0,1 % Fe, 0,01 % Zn, 0,01 % Cu, 0,01 % Mn, 0,01 % Mo ja 0,2 % Na sekä kyllästettyä Si(OH)₄ kutakin erikseen ja mitattiin booripitoisuus. Vain raudan vaikutus oli saavutetulla mittaustarkkuudella todettavissa. 0,5 M HCl:n vaihtaminen 0,5 M HNO₃:oon ei vaikuttanut absorbanssiin. Rauta absorboi samalla tavalla riippumatta siitä, lisättiinkö se ferrosulfaattina vai ferri-EDTA:na.

Tutkittaessa raudan aiheuttamaa virhettä ja sen poistamista EDTA-naamioinnilla liuoksen booripitoisuuden funktiona huomattiin FeSO₄:sta ja H₃BO₃:sta johtuvat absorbanssit toisistaan riippumattomiksi (kuva 2). Kun virhe kasvaa lineaarisesti raudan konsentraation kasvaessa, mitattavan liuoksen laimentaminen ei vaikuta siihen. EDTA-naamionti pienensi virhettä noin 70 %. Tämän kelaatinmuodostajan niukkaliukoisuus rajoittaa sen määrän lisäämistä (vertaa WOLF 1971, s. 369).

Raudan aiheuttama positiivinen virhe työssä käytetyllä atsometiini-H-menetelmän sovellutuksella saatavaan booripitoisuuteen on selvityksen mukaan noin 0,1 % mitattavaan uutteeeseen liunneen raudan määrästä. Maan vesiliukoisen boorin ja öljykasvien booripitoisuuden määrityksessä sillä ei ole merkitystä, mutta esim. maan totaalianalyyseissä rauta saattaa suurentaa tuloksen moninkertaiseksi todelliseen booripitoisuuteen verrattuna. Ilman atsometiini-H-reagenssin lisäämistä mitatun tausta-absorbanssin vähentäminen näyttäisi soveltuvan raudasta johtuvan virheen korjaamiseen, koska raudan mitattiin absorboivan 420 nm:n valoa yhtä paljon ilman tätä reagenssia kuin sen kanssa.



Kuva 2. Mitattavaan liuokseen lisätyn raudan vaikutus boorimäärityksen tulokseen. A: Fe ei lisätty, B: 100 mg/kg Fe ilman EDTA, C: 1000 mg/kg Fe ja EDTA, D: 1000 mg/kg Fe ilman EDTA.

Maan kuumavesiliukoinen boori määritettiin työn alussa SIPPOLAN ja ERVIÖN (1977) esittämällä tavalla lisäämällä maahan aktiivihiiltä uutteen sameuden poistamiseksi. Vaikka kaikista uuteteista ei tullut täysin kirkkaita, kivennäis- maista saatiin kuitenkin samankaltaisia tuloksia kuin emäkseksi tehdyn uutteen haihdus-poltto-liuotus-suodatus-menetelmällä. Eloperäisten maiden vesiuutteita ei aktiivihiilellä saatu riittävän kirkkaiksi. Kaikkien eloperäisten ja maan booritestaus -kokeen muidenkin maiden uutteen kirkastettiin kuivapoltolla, joka rutiinimenetelmäksi on hidas.

GUPTA ja STEWART (1975) ja GUPTA (1979a) osoittivat, että aktiivihiili vähentää lisätyn boorin aiheuttamaa absorbanssia jopa kymmeniä prosentteja, ilmeisesti pidättämällä itseensä booria. PARKER ja GARDNER (1981) havaitsivat suodoksen sameuden aiheuttavan aktiivihiilen käytöstä huolimatta suuren positiivisen virheen atsometiini-H-menetelmällä mitattuun booripitoisuuteen. SIPPOLAN ja ERVIÖN saavuttama paljon parempi tarkkuus saattaa johtua siitä, että hiiltä lisättiin sameisiin suodoksiin enemmän kuin muihin, jolloin uutteeeseen jääneen sameuden aiheuttama positiivinen virhe ja aktiivihiileen pidättymisestä johtuva negatiivinen virhe kumoavat toistensa vaikutusta. Eri valmistajien aktiivihiili saattaa myös käyttäytyä eri tavalla (GUPTA 1979b).

Työn aikana julkaistut tutkimukset niin kuin omatkin kokemukset osoittivat atsometiini-H-menetelmän kehittämisen uutteiden sameuden aiheuttaman virheen välttämiseksi sekä tarpeelliseksi että mahdolliseksi. PORTER ym. (1981) kehittivät automatisoidun määritysmenetelmän, jossa orgaaninen aines poistetaan dialysoimalla. PARKER ja GARDNER (1981) havaitsivat, että 0,02 M CaCl_2 :n käyttö uuttonesteenä veden asemesta poistaa virhettä aiheuttavaa tausta-absorbanssia tehokkaammin kuin aktiivihili. Sentrifugointi oli yhtä hyvä kuin suodatus vain erittäin suurilla nopeuksilla. Kun tässä Yhdysvaltojen Oregonin osavaltiossa tehdysä tutkimuksessa käytetyt kymmenen maata muistuttavat aika lailla suomalaisia kivennäismaita (pH 5,2-6,6, orgaanista ainetta 0,9-6,6 %) ja vertailumenetelmänä oli luotettavana pidetty plasmaemissiomittaus, päätettiin ehdotettua muunnosta kokeilla.

PARKERin ja GARDNERin (1981) mukaan tislatus veden korvaaminen uutossa 0,02 M CaCl_2 :lla ei vaikuta lainkaan uutuvan boorin määrään. BAKERin ja MORTENSENin (1966) mukaan 0,007 M CaCl_2 uuttaa booria yhtä paljon kuin vesi. Tässä työssä uutteen sameuden poistamista kokeiltiin 0,01 M CaCl_2 :lla, joka oli käytössä työn toisessa uutomenetelmässä. Jokaisesta suodoksesta mitattiin erikseen tausta-absorbanssi atsometiini-H-reagenssia lukuunottamatta aivan samalla tavalla käsitellyistä liuoksista, myös askorbiinihappoa lisäten, toisin kuin PARKER ja GARDNER (1981).

CaCl_2 vähensi sameutta (taulukko 6), mutta ei läheskään niin täydellisesti kuin PARKERin ja GARDNERin (1981) tutkimuksessa. Vesiuutolla tausta-absorbanssi ei osoittanut virhettä (= erotusta polttokäsittelyllä saatuun) yhtä hyvin kuin oregonilaisilla mailla nimenomaan pelkällä vedellä uutettaessa, mutta CaCl_2 -uutteella taustakorjaus johti aika tarkasti samoihin tuloksiin kuin polttomenetelmä. CaCl_2 -lisäys ei juuri vaikuttanut tuloksiin silloin, kun utteet kirkastettiin polttamalla.

Japanissa on havaittu, että humus ei vaikuta värinmuodostukseen atsometiini-H-menetelmässä ja että taustakorjauksella saadaan luotettavia tuloksia (KOZAI ja HOSHINA 1981), mutta aktiivihilien on todettu aiheuttavan virhettä absorboimalla utteesta booria (KOZAI ja HOSHINA 1981, WATANABE ym. 1981).

Kasvinäytteet voidaan käsitellä myös märkäpoltolla boorittomia astioita käyttäen (GESTRING ja SOLTANPOUR 1981b), mutta kuivapoltto on atsometiini-H-menetelmässä yleisempi. Taulukossa 7 esitetään eri tutkimuksissa käytettyjä, suuresti vaihtelevia poltto- ja uutto-olosuhteita. Emäslisäys ei GUPTAn (1967a) ko-

Taulukko 6. CaCl_2 :n kokeilu uutteen sameuden vähentämiseksi maan kuumavesiliu-
koisen boorin määrityksessä. Tulokset mg B/l maata.

| Maa- laji | Org. C % | Uutto- liuos | Mittaus suoraan | | Kirkastus polttaen | |
|--------------|-------------|----------------------|-----------------|----------|--------------------|----------|
| | | | ei korj. | korjattu | ei korj. | korjattu |
| AS | 2,4 | H_2O | 1,16 | 0,46 | 0,64 | 0,64 |
| | | CaCl_2 | 0,84 | 0,60 | 0,61 | 0,60 |
| Hht | 2,3 | H_2O | 0,83 | 0,32 | 0,43 | 0,43 |
| | | CaCl_2 | 0,75 | 0,49 | 0,48 | 0,49 |
| LJS | 10,5 | H_2O | 2,05 | 0,55 | 0,64 | 0,60 |
| | | CaCl_2 | 1,21 | 0,59 | 0,66 | 0,61 |
| Ct | 23,3 | H_2O | 2,50 | 0,63 | 0,68 | 0,66 |
| | | CaCl_2 | 1,49 | 0,71 | 0,71 | 0,68 |
| LCt | 31,3 | H_2O | 2,22 | 0,38 | 0,41 | 0,36 |
| | | CaCl_2 | 1,20 | 0,38 | 0,47 | 0,39 |

Taulukko 7. Kasviaineksen polttaminen ja tuhkan uuttaminen boorimääritystä
varten eri tutkimuksissa.

| Näyte g | Emäslisäys | Polttolämpötila ja -aika, $^{\circ}\text{C}/\text{t}$ | Uuttoliuos aine | -aika ml/M | -lämpötila t/ $^{\circ}\text{C}$ | Tutkimus |
|------------|------------|--|-------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 2-4 | (CaO) | 550/4 | HCl | 10/6 | 0,5/20+ | GUPTA 1967a |
| 1 | (CaO) | 470/1,5 | H_2SO_4 | 10/0,35 | ?/20 | BASSON ym. 1969 |
| 1-3 | CaO | 470/4 | HCl | 10/0,1 | 4/20 | GUPTA ja STEWART 1975 |
| 1 | - | 550/8 | HCl | 5/1 | ?/20 | JOHN ym. 1975 |
| 1 | - | 450/16 | HCl | 10/0,1 | 4/20 | SIPPOLA ja ERVIÖ 1977 |
| 1 | - | 600/1 | H_2SO_4 | 10/0,18 | 1/20 | GAINES ja MITCHELL 1979 |
| 1 | - | 550/8 | HCl | 5/1 | ?/20 | GESTRING ja SOLTAN- POUR 1981a |
| 1 | - | 500/4 | HCl | 10/11 | ?/20 | GESTRING ja SOLTAN- POUR 1981b |
| 0,02 | - | 500/4 | H_2SO_4 | 0,2/0,5 | 1/20 | LOHSE 1982 |

keilussa vaikuttanut tulokseen, mutta BASSON ym. (1969) neuvovat lisäämään kalsiumoksidia, jos näytteen maa-alkalipitoisuus on alhainen ja GAINES ja MITCHELL (1979) pitävät kalsiumhydroksidin lisäämistä siemeniä poltettaessa mahdollisesti tarpeellisena. WILLIAMS ja VLAMIS (1961) osoittivat sähköuunin huomattavan positiivisen virheen aiheuttavaksi boorilähteeksi. Boorikontaminaatiota voidaan torjua polttamalla näytteet nopeasti korkeissa kannellisissa upokkaissa sekä kuumentamalla uuni polttolämpötilaa huomattavasti kuumemmaksi (LOHSE 1982). GAINES ja MITCHELL (1979) totesivat 0,1 M HCl:n uuttavan tuhkan boorin epätäydellisesti.

Boorin mahdollista haihtumista ja uunissa tulevaa kontaminaatiota selvitettiin työn alussa polttamalla kasvinäytteitä sähköuunissa eri lämpötiloissa eripituisia aikoja emäslisäyksen kanssa ja ilman (taulukko 8). Yhden gramman erinä poltetut näytteet olivat nuoren rypsin ja raiheinän koko versoja. CaO:a lisättiin 0,1 g. Tulokset olivat kaikilla käsittelyillä samanlaisia. Käytetyssä uunissa ei todettu lainkaan WILLIAMSin ja VLAMISin (1961) havaitsemaa kontaminaatiota, vaikka uunia ei kuumennettu ennen kokeilua. Tuhka uutettiin 20 ml:lla 0,5 M HCl sekoittaen huolellisesti ja suodatettiin neljän tunnin kuluttua. Tislattulla vedellä pestystä ja poltetusta jäännöksestä ei löydetty booria.

Taulukko 8. Polttolämpötilan ja -ajan sekä emäslisäyksen vaikutus kasvinäytteistä atsometiini-H-menetelmällä määritettyyn booripitoisuuteen, kahden rypsi ja kahden raiheinänäytteen keskiarvoja (mg/kg):

| Lämpötila °C | Aika t | Rypsi | | Raiheinä | |
|-----------------|-----------|-------|------|----------|------|
| | | - | CaO | - | CaO |
| 450 | 2 | 38,2 | 38,0 | 15,9 | 16,5 |
| 450 | 16 | 37,7 | 37,6 | 15,7 | 15,4 |
| 520 | 2 | 38,6 | 37,5 | 15,7 | 15,9 |
| 520 | 16 | 37,9 | 37,5 | 15,7 | 15,4 |

Edelläesitetyn kokeilun ja kirjallisuuden perusteella valittiin polttolämpötilaksi 520°C ja -ajaksi 2-3 tuntia. Varsinkin lähellä uunin suuluukkaa esiintyneen epätäydellisen palamisen takia kokeiltiin myöhemmin korkeampien lämpötilojen vaikutusta. Runsaasti booria sisältäviä (81 mg/kg) rypsin lehtiä (1 g)

ja boorihappoa (0,04 mg B) poltettiin yhdessä ja erikseen 40 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lisä-
ten ja ilman. Emäs ja boori imeytettiin lehtijauheeseen kastelemalla märäksi.
Ennen polttoa liuokset haihdutettiin kuiviksi. Kun kalsiumhydroksidia ei lisät-
ty, boorihappo haihtui jo 105°C :ssa (taulukko 9). Polttamatta uutettaessa
liuennut orgaaninen aines aiheutti suuren positiivisen virheen. Lämpötilan vaih-
telu välillä $450\text{--}800^\circ\text{C}$ neljän tunnin poltossa ei aiheuttanut tuloksiin merkit-
täviä muutoksia, mutta 800°C :ssa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ei yksinään täysin estänyt H_3BO_3 :n
haihtumista.

Taulukko 9. Polttaminen eri lämpötiloissa emäslisäyksellä ja ilman. Tulokset
ovat kolmen boorimäärityksen keskiarvojen suhdelukuja.

| Lämpötila, $^\circ\text{C}$ | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | Lehdet | H_3BO_3 | Lehdet + H_3BO_3 |
|-----------------------------|--------------------------|--------|-------------------------|----------------------------------|
| 105 | ilman | 175 | 2 | 142 |
| 105 | lisätty | 182 | 104 | 143 |
| 450 | ilman | 98 | 1 | 99 |
| 450 | lisätty | 94 | 101 | 97 |
| 520 | ilman | 100 | - | 100 |
| 520 | lisätty | 97 | 100 | 101 |
| 600 | ilman | 100 | - | 100 |
| 600 | lisätty | 97 | 100 | 102 |
| 800 | ilman | 102 | - | 95 |
| 800 | lisätty | 97 | 85 | 101 |

Boorin haihtumista erilaatuisten kasvinäytteiden poltossa selvitettiin rypsin
lehdillä (1 g samaa näytettä kuin edellisessä koepoltossa) ja siemenillä (2 g)
sekä ohran jyvillä (5 g) ja oljilla (2 g) neljän tunnin poltossa. Jyvät jauhet-
tiin sakolukumyllyllä ja kemikaalit imeytettiin kasviainekseen vedellä. Rypsin
siemenistä tai lehdistä booria ei huomattu hävinneen (taulukko 10). Ohran jy-
vistä sekä omaa että lisättyä booria haihtui mittausten mukaan hyvin merkittä-
viä määriä, 20-66 %, kun kalsiumhydroksidia ei lisätty. Ohran oljista näyttää
hävinneen 9-24 %. Kun sama pieni $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -määrä (0,2 g/5 g jyviä) sekoitettiin
kuivana kokonaisuun jyviin, sen ei havaittu estävän boorihäviötä lainkaan.

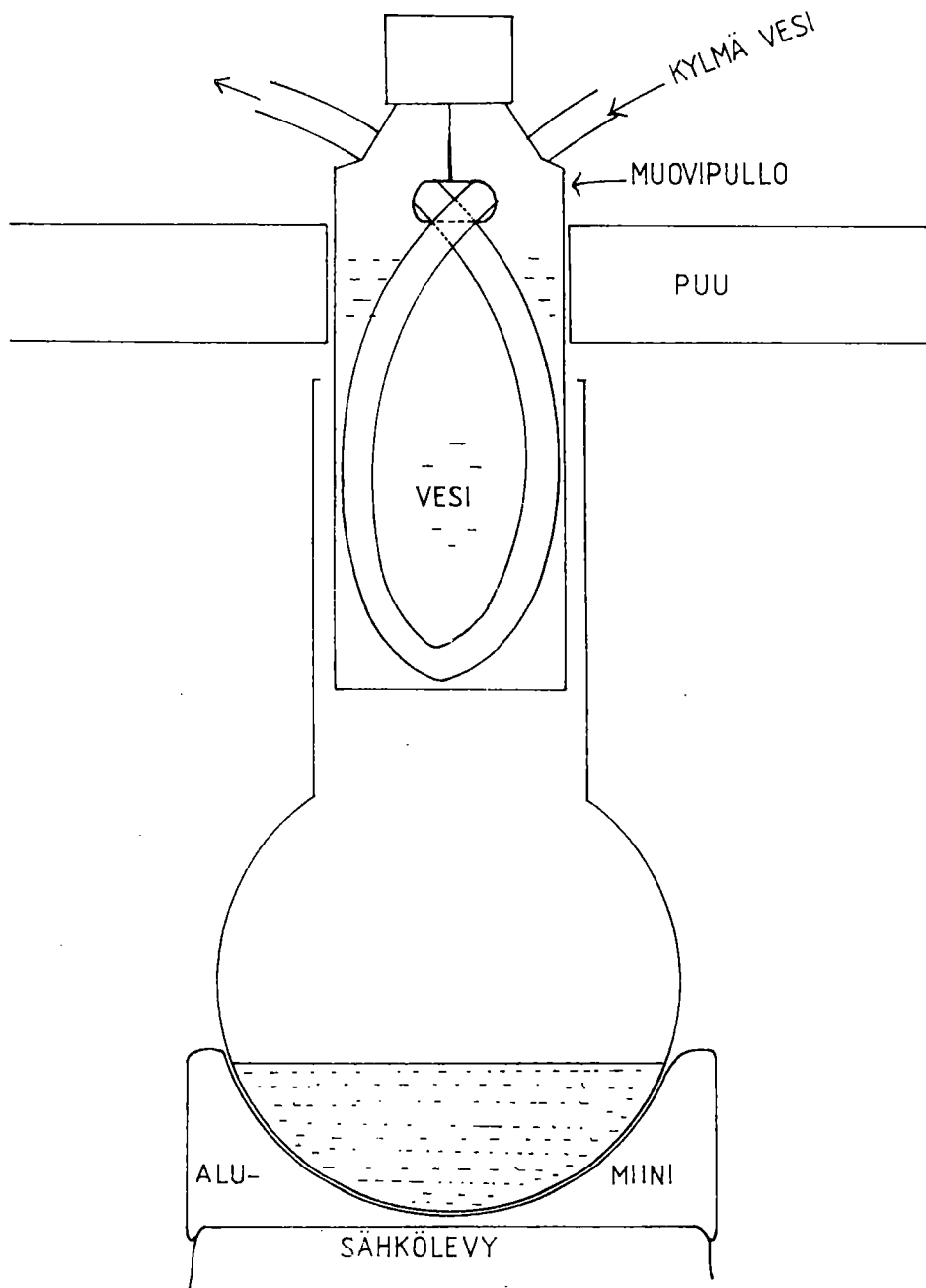
Taulukko 10. Polttolämpötilan ja emäslisäyksen vaikutus erilaisten kasvinäytteiden boorimäärityksessä. Kahden mittauksen keskiarvoja, mg/kg.

| Lämpötila °C | Ca(OH) ₂ - lisäys | Rypsin siemenet | Rypsin lehdet | Ohran jyvät | Ohran jyvät+B | Ohran oljet | Ohran oljet+B |
|-----------------|---------------------------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| 520 | ilman | 12,0 | 82 | 2,1 | 7,1 | 3,6 | 22,2 |
| 520 | lisätty | 12,1 | 80 | 2,6 | 11,0 | 4,0 | 24,3 |
| 600 | ilman | 11,9 | 81 | 1,4 | 3,9 | 3,4 | 18,8 |
| 600 | lisätty | 12,3 | 81 | 2,6 | 11,5 | 4,0 | 24,6 |

Tehdyt selvitykset osoittivat, että boorin haihtuminen kasvinäytteiden poltossa riippuu näytteiden laadusta. Kalsiumpitoisuuden ollessa luontaisesti tai lisättyinä yli kaksi prosenttia booria ei haihtunut korkeissakaan lämpötiloissa. Lämpötilan nousu lisäsi boorihäviötä jyvistä ja oljista aika vähän. Poltettaessa 520°C:ssa varsinkin suuret näytteet vaalenevat hitaasti ja usein epätavallisesti, jolloin saadaan tummia uutteita ja positiivisia virheitä. Polttoon näyttää soveltuvan hyvin 550-600°C:n lämpötila. Kasvin maa-alkalipitoisuuden ollessa alhainen pitää boorin haihtumisen estämiseksi lisätä CaO:a tai Ca(OH)₂:a kiinteän kosketukseen näytteen kanssa saattaen.

Maanäytteet murskattiin TAREKSEN ja SIPPOLAN (1978) selostamalla tavalla puukiekolla hiertäen, ja alle 2 mm:n raekokoon jauhautunut aines otettiin kemiallisiin analyyseihin. Kuumavesiliukoisen boorin määrityksessä maata mitattiin varrellisella mittasylinterillä koputtamalla tiivistäen 25 ml kvartsiseen 250 ml:n keittopulloon, lisättiin 50 ml 0,01 M CaCl₂:a, keitettiin sähkölevyllä 5 minuuttia ja suodatettiin välittömästi Whatman 42 suodatinpaperin läpi. (Työn alussa noudatettiin SIPPOLAN ja ERVIÖN (1977) selostamaa menettelyä, s. 20). Keittolaitteista pystyjäähdyttiminen on selvitys kuvassa 3.

"Kylmävesiliukoisen" boorin määrityksessä 25 ml maata mitattiin (kuten edellä) 250 ml:n muovipulloon, lisättiin 125 ml 0,01 M CaCl₂:a, huiskutettiin yksi tunti ja suodatettiin. Suodosta mitattiin 50 ml kvartsiseen haihdutusmaljaan, lisättiin 1 ml kyllästettyä Ca(OH)₂:a, haihdutettiin lämpökaapissa kuivaksi, poltettiin sähköuunissa, uutettiin 10 ml:lla 0,5 M HCl:a ja suodatettiin. Osalla kuumavesiuutteista suoritettu polttokäsittely tehtiin samalla tavalla, mutta haihdutettu suodosmäärä oli 20 ml.



Kuva 3. Maasuspension keitto kuumavesiliukoisen boorin määrityksessä. Jäähdyt-
timenä toimiva muovipullo on väljässä reiässä letkujen varassa ja pitää
keittopulloa pystyssä. Näytettä vaihdettaessa jäähdytin nostetaan ylös.

Lehti-, varsi- ja olkinäytteet jauhettiin boorimääritystä varten sakolukumyllillä, siemenet poltettiin kokonaisina. Kvartsisiin haihdutusmaljoihin (\varnothing 70 mm) punnittiin tavallisesti lehtiä ja varsia 1 g ja siemeniä 2 g. Poltto aloitettiin kylmällä uunilla, jonka lämpötila nostettiin 550°C :een (työn alussa alemmaksi). Vaalean tuhkan muodostamiseen tarvittiin 2-4 tunnin pottoaika. Jäähdytyneeseen tuhkaan lisättiin 20 ml 0,5 M HCl:a, sekoitettiin huolellisesti muovisauvalla ja neljän tunnin kuluttua suodatettiin.

Boorin määrittämisessä käytetty atsometiini-H valmistettiin pääasiassa itse (BASSON ym. 1969). 0,9 g tätä reagenssia liuotettiin 150 ml:aan vettä, lisättiin 2 g askorbiinihappoa ja täytettiin vedellä 200 ml:ksi. Kaksinkertainen reagenssiväkevyys muodostaisi hiukan voimakkaamman absorbanssin, mutta ei reagenssin kalleuden takia ole tarkoituksenmukainen (BASSON ym. 1969, JOHN ym. 1975). Reagenssiluos säilyy käyttökelpoisena jääkaappilämpötilassa viikon, kun sen muuttumisen vaikutus tuloksiin estetään käyttämällä samaa liuosta koko mittauserässä (JOHN ym. 1975, GUPTA 1979a). Tausta-absorbanssin mittaamista varten valmistettiin yksiprosenttinen askorbiinihappoliuos (2 g/200 ml H_2O).

Puskuri-naamiointiliuos valmistettiin liuottamalla 250 g ammoniumasetaattia ja 15 g Na_2 -EDTA:a 400 ml:aan vettä ja lisäämällä 125 ml jäätikkää. Atsometiini-H-menetelmä ei ole herkkä liuoksen pH:n vaihtelulle (BASSON ym. 1969).

Mittauksessa käytetyt booripitoisuuden vertailuliuokset valmistettiin boorihaposta. Varastoliuoksessa oli 100 mg B/l ($0,572 \text{ g H}_3\text{BO}_3/1$) 0,5 M HCl:ssa. Siitä valmistettiin mitattavien liuosten koostumusta (H_2O , 0,01 M CaCl_2 tai 0,5 M HCl) vastaava ja boorikonsentraatioalueen peittävä, 4-6 liuoksen vertailusarja. Absorbanssin kasvu on booripitoisuuden lisääntyessä lineaarinen konsentraatioon 4 mg B/l saakka (BASSON ym. 1969, WOLF 1971).

Boorin mittaamista varten 2 ml uutetta pipetoitiin 25 ml:n muovipulloon, lisättiin 4 ml puskuri-naamiointiliuosta, sekoitettiin hyvin ja lisättiin 4 ml reagenssiluosta. Maauutteista valmistettiin tausta-absorbanssin mittaamista varten rinnakkaisliuos lisäten atsometiini-H-reagenssin asemesta askorbiinihappoliuosta. Värjäyksestä noin yhden tunnin kuluttua mitattiin absorbanssi 420 nm:n aallonpituutta käyttäen 10 mm:n läpivirtauskyvetillä ja digitaalisella näyttölä varustetulla Bausch & Lomb Spectronic 88-spektrofotometrillä.

Absorbanssin maksimi saavutetaan huoneen lämpötilassa JOHNin ym. (1975) mukaan 30 minuutissa, SIPPOLAN ja ERVIÖN (1977) mukaan 30-60 minuutissa, GUPTAN (1979a)

mukaan 60 minuutissa ja GAINESin ja MITCHELLin (1979) mukaan 60-120 minuutissa. Lämpötilan nousu huoneen lämpötilaa korkeammaksi heikentää värinmuodostusta (BASSON ym. 1969, JOHN ym. 1975). Atsometiini-H-boorihappokompleksi absorboi valoa melko leveällä aallonpituusvälillä (BASSON ym. 1969), ja sitä on mitattu myös 430 nm:n aallonpituudella (WOLF 1971 ja 1974, GUPTA 1979a).

Atsometiini-H-menetelmä asettaa korkeat vaatimukset käytettävän veden puhtaudelle (WOLF 1974). Tämän työn boorimäärityksissä käytettiin kvartsilasista valmistetulla laitteella tislattua vettä. Kemikaaleissa tulevaan boorikontaminaatioon varauduttiin käsittelemällä koko mittauserät aina samoilla liuoksilla. PHILIPSON (1953) totesi kemikaalien yleensä sisältävän booria sitä enemmän, mitä paremmin puhdistettuja ne ovat. Tämän paradoksin syynä lienee borosilikaattilasista valmistettujen laitteiden käyttö puhdistuksessa. Tässä työssä näytteiden kanssa kosketuksessa olevat materiaalit olivat boorittomia, kvartsia tai muovia.

III MAAN BOORI

1. Boorin esiintyminen maaperässä

Maankuoren pintakerroksen booripitoisuutta koskevia lukuja esitetään taulukossa 11. Magmakivissä booria on vähemmän kuin sedimenteissä. AUBERTin ja PINTAn (1977) mukaan magmakivien alimmat pitoisuudet ovat noin 1 mg B/kg ja mantereisten sedimenttien pitoisuudet ovat yleensä 5-12 mg B/kg, mutta merellisten sedimenttien paljon korkeampia, aina 500 mg/kg:aan saakka. Valtamerien booripitoisuus on 4,6 mg/kg (KRAUSKOPF 1973) ja Itämeren veden booripitoisuus 1,1 mg/kg.

Korkeassa lämpötilassa muodostuneissa kivilajeissa boori esiintyy paitsi pieninä pitoisuuksina silikaateissa myös turmaliini-nimisenä boroaluminosilikaattina. Alhaisessa lämpötilassa muodostuneita ovat kidevedelliset booraksi ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kerniitti ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), kolemaniitti ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ja uleksiitti ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) (KRAUSKOPF 1973). Kidevedellisiä suoloja käytetään boorilannoitteina. Helposti veteen liukenevina ne ovat maassa humideilla alueilla pysymättömiä. Turmaliini on vaikeasti rapautuvana melko arvotonta kasvien välittömänä boorinlähteenä (BERGER 1949).

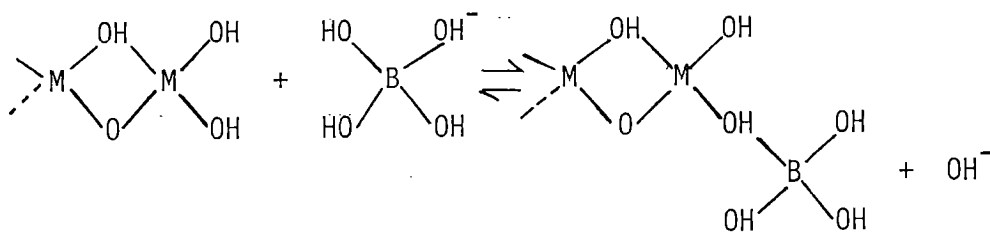
Kasvien kasvualustana olevan maan booripitoisuuden on todettu yleensä olevan välillä 2-250 mg/kg ja keskimäärin 20-50 mg/kg (AUBERT ja PINTA 1977). Kasveille käyttökelpoista, veteen liuenneina tai vaihtuvina boorihappomolekyyleinä tai boraatti-ioneina, maan boorista on aika pieni osa, tavallisesti alle viisi

prosenttia (EVANS ja SPARKS 1983). Maan boorin aktiivisen ja kasvinravitsemuksessa tärkeimmän osan kemialla on tutkittu mittaamalla boorin pidättymistä erilaisiin maihin ja aineisiin. Näiden tutkimusten tuloksia tarkastellaan lyhyesti EVANSin ja SPARKSin (1983) kirjallisuuskatsauksen pohjalta.

Taulukko 11. Maankuoren booripitoisuus KRAUSKOPFin (1973) mukaan.

| Maankuoren osa | Booripitoisuus, mg/kg |
|----------------|-----------------------|
| Magmakivet | |
| Graniitti | 15 |
| Basaltti | 5 |
| Sedimentit | |
| Kalkkikivi | 20 |
| Hiekkakivi | 35 |
| Liuske | 100 |
| Koko maankuori | 10 |
| Maaperä | 7-80 |

Alumiini- ja rautaoksidihydroksidi pidättävät laimeasta vesiliuoksesta boorihappoa verrattain tehokkaasti. Pidättyminen on voimakkainta emäksisessä liuoksessa, mutta pH 8-9:ssä olevan maksimin yläpuolella se vähenee jyrkästi. Heikko boorihappo (pKa 9,2) dissosioituu boraatti-ioneiksi merkittävästi vain emäksisessä pH:ssä. Boraattianionin ($B(OH)_4^-$) pidättyminen voimakkaammin kuin boorihappomolekyylillä selittää pidättymisen tehostumisen emäksisyyden kasvaessa. Pidättymisen heikkeneminen maksimi-pH:n yläpuolella johtuneen anioninvaihtopai-koista kilpailevista hydroksidi-ioneista:

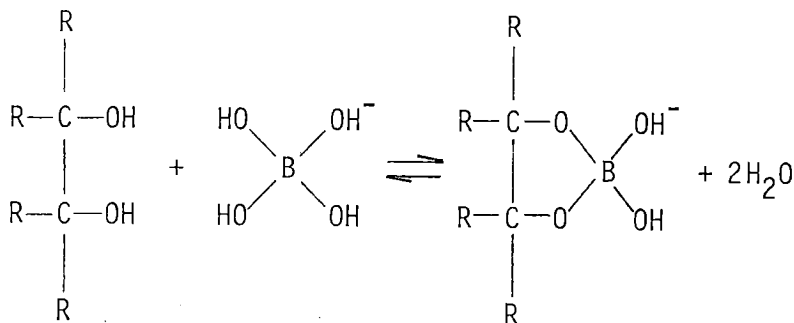


M = Al tai Fe

Boraatti-ioni voinee liittyä myös Al- ja Fe-oksidihydroksidipolymeerien osaksi. Boori pidättyy myös happamassa ympäristössä, jossa heikko boorihappo ei ilmei-

sesti dissosioidu. Boorihappomolekyylit pidättyvät mahdollisesti vetysidoksilla. Alumiinin on todettu pidättävän booria runsaammin kuin rauta, mikä johtunee alumiinisysteemin useammista OH-ryhmistä. Tuoreen alumiinihydroksidisaostuman vanhentuuessa sen boorinpidätyskyky heikkenee huomattavasti.

Boorin on osoitettu sitoutuvan orgaaniseen aineeseen boraattiestereinä. Cis-dioliin kanssa boraatti-ioni muodostaa rengasmaisen rakenteen:



pH:n nousu siirtää reaktiotasapainoa oikealle ja voimistaa siten boorin pidättymistä orgaaniseen aineeseen.

Anglosaksisten tutkimusten yhteenvedon täydennykseksi todettakoon, että SCHARRERin ym. (1956) mukaan jotkut alumiinioksidit pidättävät booria eniten happamassa pH:ssa. METWALLY ym. (1974a) havaitsivat hydroksidi-ioneja vapautuvan alumiini- ja rautahydroksidista boorin pidättyessä myös happamassa reaktiossa, mikä osoittanee pidättymisen olevan osittain anionien vaihtoa myös happamassa liuoksessa. METWALLY ym. (1974b) totesivat myös amorfisen piihappo-geelin pidättävän booria yhtä runsaasti kuin alumiinihydroksidi, joka tässä tutkimuksessa oli heikompi boorin pidättäjä kuin rautahydroksidi. Eri tutkimuksissa saatujen tulosten ristiriitaisuus johtunee aineiden kiderakenteen ja fysikaalisen tilan eroista sekä erilaisesta kemiallisesta ympäristöstä.

Myös savimineraalien ja maan boorinpidätyskyky kasvaa pH:n noustessa, mutta pidättyvä boorimäärä on yleensä paljon pienempi kuin amorfisten hydroksidien pidättämä määrä (KLUGE ja BEER 1979). Aktiivista pintaa maassa on ilmeisesti vähemmän kuin puhtaissa hydroksideissa, ja maassa on enemmän vaihtopaikoista kilpailuvia ioneja ja molekyyliä kuten piihappoa, joka vähentää boorin pidättymistä (MCPHAIL ym. 1972).

Maan rakennetta hajottamatta uuttuvasta (vaihtuvasta) boorista suurin osa vapautuu hyvin nopeasti, ilmeisesti maahiukkasten ulkopinnoilta. Hitaasti vapautuva boori todennäköisesti diffundoituu huokoisten hiukkasten sisältä, esimerkiksi

paisuvahilaisten savimineraalien hilaanväleistä (GRIFFIN ja BURAU 1974). ELRASHIDI ja O'CONNOR (1982) havaitsivat boorin pidättyvän joihinkin maihin vain palautuvasti ja toisiin osittain palautumattomasti, mutta eivät kyenneet selvittämään vaihtumattomaksi sitoutumisen mekanismia.

Suomen maaperän boorinpidätyskykyä ajatellen todettakoon vielä, että boorin on osoitettu pidättyvän myös happamassa liuoksessa sekä alumiinioksidihydroksidiin (SHARRER ym. 1956, SIMS ja BINGHAM 1968, METWALLY ym. 1974a) että aktiivista alumiinia sisältäviin maihin (BINGHAM ym. 1971, SCHALSCHA ym. 1973). Myös orgaaninen aines pidättänee booria happamassa maassa (PARKS ja WHITE 1952), mutta eloperäisten maiden boorista on julkaistu tutkimuksia hyvin vähän.

Kasveille käyttökelpoisen maan boorin arvioinnissa käytetään useimmissa mais-sa samaa menetelmää, BERGERin ja TRUOGin (1939) kehittämää kuumavesiuuttoa. Eri-laisten muunnosten takia tulokset eivät kuitenkaan ole aina täysin rinnastet-tavissa. Jopa saman laboratorion tulokset voivat muuttua menetelmiä kehitettäes-sä, kuten Suomen viljavuustutkimuksissa (KURKI 1982, s. 108). Tätä taustaa vasten SILLANPÄÄN (1982) laaja kansainvälinen tutkimus, jonka maanäytteet ana-lysoitiin kaikki samassa laboratoriossa samoilla menetelmillä, on maapallon eri osien hivenravinnetilannetta verrattaessa arvokas. Sen mukaan Suomen vehnäpel-tojen booritila, 0,55 mg kuumavesiliukoista booria maalitrassa, on lähellä kan-sainvälistä keskitasoa 0,75 mg B/l.

Aikaisemmin maamme peltojen booritila on ollut huomattavasti huonompi kuin nykyisin, kuten viljavuustutkimustilastot osoittavat (taulukko 12). Edullinen kehitys johtuu aikaisempaan verrattuna moninkertaisesta boorilannoituksesta, joka on kaikkiiin Y-lannoksiin lisätyn pienen boorimäärän seuraus. Keskimääräi-nen booriväkilannoitus hehtaaria kohti on ollut lannoitteiden myyntitilastojen (TAKAMÄKI 1983) mukaan Suomen viljelymailla vuosina 1970-71 80 g, vuosina 1972-78 210 g ja vuosina 1979-83 350 g. Jos kyntökerroksen paksuus arvioidaan 23 cm:ksi, saadaan viimeisten vuosien boorilannoitukseksi maalitraa kohti 0,15 mg B yhdessä vuodessa. Kuumavesiliukoisen boorin lisäys kaudelta 1966-70 kaudelle 1981-82 vastaa vajaata 20 prosenttia kymmenen viimeisen vuoden boo-rilannoituksesta.

Maan kuumavesiliukoisen boorin pitoisuus vaihtelee maalajeittain ja alueittain ehkä vähemmän kuin minkään muun ravinteen pitoisuus (SIPPOLA ja TARES 1978, KURKI 1982). Maa-analyysien kanssa samalaisen kuvan antavat myös siemenapilan boorilannoituskokeet, joissa lannoitustarvetta todettiin kaikilla maalajeilla kautta koko Suomenniemien (HÄNNINEN 1962). Puna-apilan siementuotannossa boori-

Lannoitus on ollut Suomessa monin verroin tärkeämpi kuin Tanskassa, missä maan booriluku (mg B/10 kg maata) on ollut keskimäärin 8,5 eli noin 1,0 mg B/l vastaava (STABEL ym. 1970).

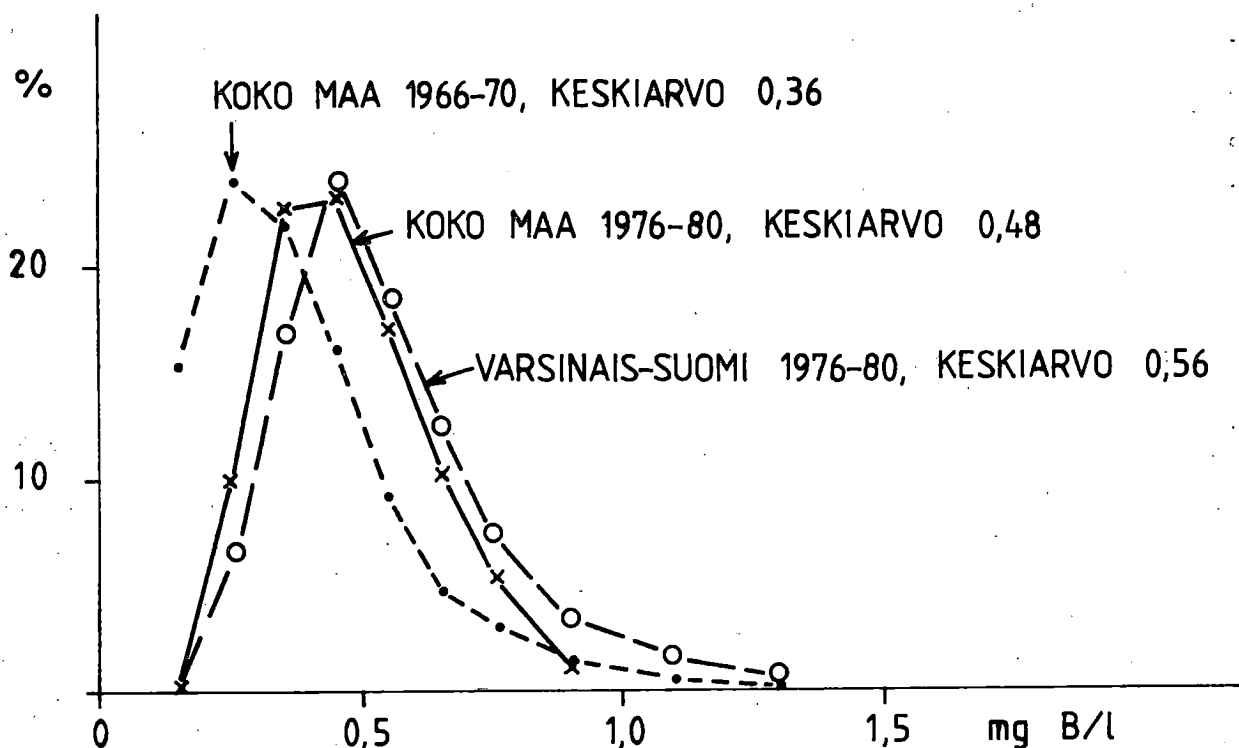
Taulukko 12. Maan kuumavesiliukoinen boori (mg/l) koko maassa ja eräiden öljykasveja tuottavien maatalouskeskusten alueilla (KURKI 1979, KÄHÄRI 1983).

| | 1966-70 | 1971-75 | 1976-80 | 1981-82 |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Koko maa | 0,36 | 0,39 | 0,48 | 0,59 |
| Uudenmaan maatalouskeskus | 0,38 | 0,38 | 0,48 | 0,60 |
| Varsinais-Suomen maatalouskeskus | 0,42 | 0,44 | 0,56 | 0,71 |
| Satakunnan maatalouskeskus | 0,40 | 0,46 | 0,54 | 0,72 |
| Pirkanmaan maatalouskeskus | 0,38 | 0,38 | 0,47 | 0,52 |
| Hämeen läänin maatalouskeskus | 0,43 | 0,42 | 0,52 | 0,63 |

Ilmasta laskeutuvan boorin määrän vähenemisen mukaisesti mm. keidassuoallikoiden booripitoisuuden on havaittu pienenevän etäisyyden merestä kasvaessa (TOLONEN 1974), mutta sateessa tulevat boorimäärät ovat kuitenkin niin pieniä, että niillä ei ehkä ole peltoviljelyssä kovin suurta merkitystä paitsi kenties aivan rannikolla. Vuodessa hehtaarille satavan boorin määräksi on Tanskassa arvioitu 30 g/ha (JENSEN 1962).

Yksittäisten viljavuustutkimusten maanäytteiden välillä kuumavesiliukoisen boorin pitoisuus on vaihdellut huomattavasti, kuten nähdään KURJEN (1972 ja 1982) julkaisemien tilastojen perusteella piirretyistä käyristä (kuva 4). Kaikkein huonoimmat booritilat (alle 0,3 mg/l) ovat vähentyneet hyvin merkittävästi 1960-luvun lopulta. Nykyisin booritilanne lienee koko maassa samankaltainen kuin se oli Varsinais-Suomessa vuosina 1976-80. Booriluvut ovat useimmiten välillä 0,2-1,0 mg/l. Paikallinen vaihtelu maan booritilassa johtuu useista tekijöistä. Boorin kokonaispitoisuus, jonka luotettava määrittäminen on ilmeisen vaikeata (KOWALENKO 1979), ei paljon vaikuta liukoisen boorin määrään (GUPTA 1968). Lyhyellä tähtäyksellä kalkitus voi vähentää liukoista booria (KLUGE ym. 1981), mutta saattaa pitkällä tähtäyksellä kartuttaa boorivaroja hidastamalla huuhtoutumista (JENSEN 1964). Boorilannoitus luonnollisesti lisää ja ravinteita ottavat viljelykasvit vähentävät maan booria. Tanskassa on ar-

vioitu booria poistuvan sadon mukana hehtaarilta vuosittain keskimäärin noin 40 g (HENRIKSEN 1970). Hyvin pienetkin boorimäärät vaikuttavat vuosittain annettuina vähitellen maan booritilaan, kuten lantun ruskotaudin väheneminen 60 gramman boorilannoituksella/ha Norjassa osoitti (ØDELIEN 1963).



Kuva 4. Maan kuumavesiliukoisen boorin tulosten jakaantuminen viljavuustutkimuksissa, 0,1 mg/l:n luokkien %-osuudet.

Kuumavesiliukoisen boorin on usein todettu olevan positiivisessa vuorosuhteessa maan orgaanisen aineen kanssa (mm. MARTENS 1968, GUPTA 1968, GUPTA 1978), mutta on huomattava, että maan tilavuuspaino pienenee ja samanpainoisen maa-erän tilavuus suurenee orgaanisen aineen lisääntyessä. Maan tilavuuteen perustuvalta uuttosuhteella Suomessa vähämultaisten maiden booriluvut ovat vain vähän muita alempia (KURKI 1982). Humideilla vyöhykkeillä liukoista booria on maan pintakerroksessa useimmiten enemmän kuin syvemmällä (JENSEN 1974, SHERRELL 1983a). Se todettu tilanne, että boorin puutetta esiintyy yleisesti vain humideilla alueilla sekä meriveden korkea booripitoisuus osoittavat huuhtoutumisen ratkaisevaa merkitystä. Huuhtoutuvan boorin määrä vaihtelee ilmeisesti hyvin laajoissa rajoissa (JENSEN 1974, RUSZKOWSKA ym. 1977).

2. Maan booritilan arviointi

Kasveille käyttökelpoisen maan boorin arvioinnissa kemiallinen maa-analyysi lienee tavallisin keino. Kemiallinen kasvianalyysi on myös yleisesti käytössä.

Biologisina maan booritilan indikaattoreina on kokeiltu auringonkukkaa ja Azotobacter chroococcumia. COLWELLin (1943) auringonkukan boorinpuutosoireisiin perustuva menetelmä on rutiinimenetelmäksi hidas (BERGER 1949), mutta tieteellisissä tutkimuksissa sitä on käytetty (mm. SHERRELL 1983a). Mikrobiologinen Azotobacter-menetelmä ei ole GUPTAn (1979b) tarkastelun mukaan tyydyttävä. Kasvien boorinpuutosoireet ovat SHORROCKSin (1982) mukaan käyttökelpoisia boorilannoitustarpeen arvioinnissa.

BERGERin ja TRUOGin (1939) kehittämä kuumavesiuutto on ainoa yleinen maan booritilan arvioinnissa käytettävä maa-analyysimenetelmä. REISENAUERin ym. (1973) laatimasta tutkimusten yhteenvedosta selviää, että kuumavesiliukoinen boori on osoittanut tyydyttävästi kasvien boorin saantia. Menetelmä on sokeri-juurikkaalla astia- ja kenttäkokeissa ennakoanut melko tarkasti paitsi lehtien booripitoisuutta myös boorin puutteesta johtuvan sydänmäädän esiintymistä (SMILDE 1970). Boorilannoituksen aiheuttamaa sadonlisäystä kuumavesiliukoinen boori on osoittanut hyvin mm. mailasella (HADDAD ja KALDOR 1982). SILLANPÄÄN (1982) tutkimuksessa tämä menetelmä oli tarkempi kuin muiden hivenravinteiden maa-analyysit.

Muita maan boorin uutossa kokeiltuja menetelmiä ovat mm. uuttaminen laimealla hapolla (PHILIPSON 1953, PONNAMPERUMA ym. 1981), happamalla natrium- tai ammoniumasetaalilla (WOLF 1971, 1974 ja 1982, GUPTA ja STEWART 1975, GUPTA ja HÄNI 1975, DREWS ja FRANK 1980), natriumvetykarbonaatilla ja 0,01 M CaCl_2 :lla (GUPTA ja STEWART 1975) sekä kalkkipitoisille maille mahdollisesti soveltuva elektroultrafiltraatio, EUF (GÄRATE ym. 1981, KUTSCHA-LISSBERG ja PRILLINGER 1982). Mitään edellistä menetelmää ei ehkä ole osoitettu humidin vyöhykkeen viljelymaille käyttökelpoiseksi. PONNAMPERUMA ym. (1981) saivat tosin kuumavesiliukoisen ja 0,05 M HCl:aan uuttuvan boorin väliseksi korrelaatiokertoimeksi 53 maalla 0,956, mutta maiden kuumavesiliukoisen boorin vaihtelu ulottui 25 mg/l:aan saakka, eikä menetelmien välillä ollut riippuvuutta boorilukujen ollessa alle 3 mg/l.

Boorin uuttoon kokeillut asetaatit muistuttavat Suomessa makroravinteiden uutossa käytettävää hapanta ammoniumasettaattia, jonka soveltuminen myös boorin uuttoliuokseksi helpottaisi maa-analyysien suorittamista. GUPTAn ja STEWARTIn (1975) ja GUPTAn ja HÄNIn (1975) alustavissa kokeissa muutamalla maalla hapan ammoniumasettaatti näytti lupaavalta. Teoreettisesti happamat liuokset ovat kuitenkin heikkoja sellaisten ravinteiden määrityksessä, joiden pidättyminen riippuu niin voimakkaasti pH:sta kuin boorin. Hapan ammoniumasettaatti uuttaa joistakin maista runsaasti vaihtumatonta alumiinia (MÄKITIE 1968) ja sen mukana

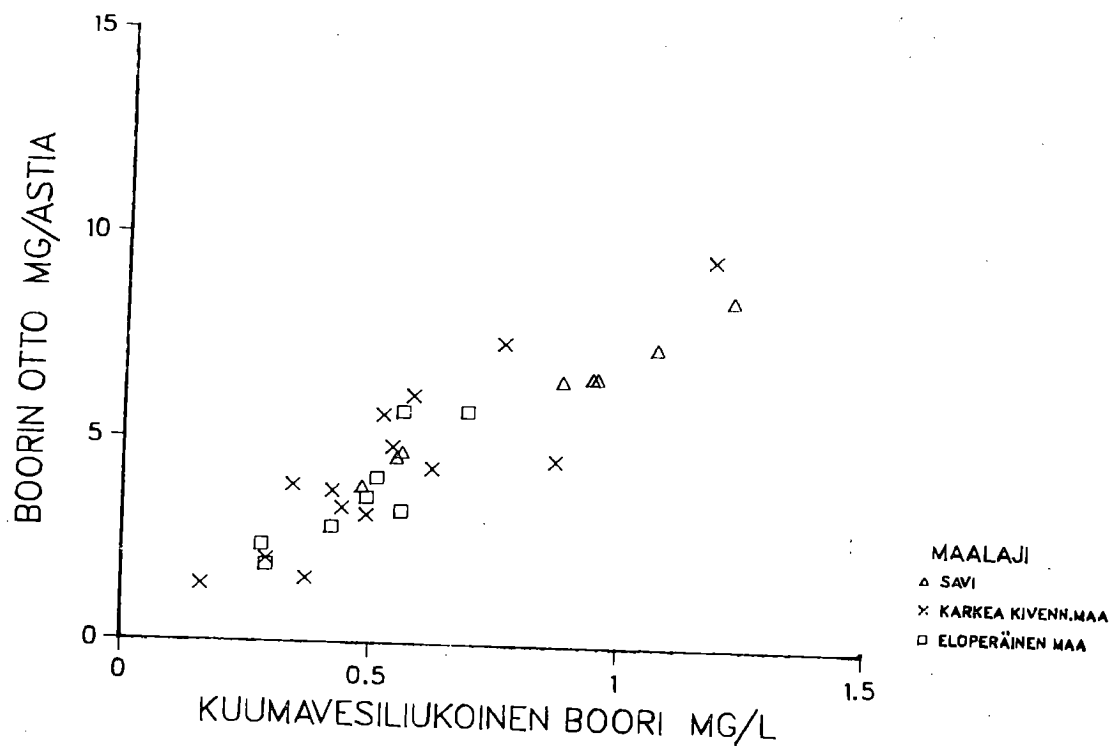
ilmeisesti kasveille käyttökelpotonta booria. Askettäin onkin Uudessa Seelannissa julkaistu tutkimuksia, joissa hapan ammoniumasetaatti (pH 4,8) on ollut boorin uuttoliuoksena selvästi huonompi kuin kuuma vesi (SHERRELL 1983a ja 1983b).

Kuumavesiliukoisen boorin määrittäminen on verrattain työlästä. Keittämisen yksinkertaistaminen käyttämällä pystyjäähdyttimellä varustetun keittopullon asemesta kellonlasilla varustettuja dekantterilaseja (GUPTA 1967b) saattaa johtaa boorin häviämiseen haihtumalla (GUPTA ja STEWART 1975). Keittoajan lyhentäminen viidestä minuutista vähentäisi uuttumista jyrkästi, mutta pidemmässä keitossa uuttuisi lisää hitaasti tai ei lainkaan (BERGER ja TRUOG 1944, GUPTA 1967b, ODOM 1980). Keittämisen nopeuttamiseksi on kehitetty termostaatilla säädetty useiden kymmenien näytteen keittolaite (JOHN 1973). Tässä työssä maan boorin uuttamisen helpottamismahdollisuuksia selvitettiin kokeilemalla uuttoliuoksena 0,01 M CaCl_2 -liuosta, jota aikaisemmin ovat käyttäneet GUPTA ja STEWART (1975). Kun tämä suolaliuos on yhtä laimea kuin viljavan maan huokosissa oleva vesi, voitaneen hyväksyä myös nimitys kylmävesiliukoinen boori.

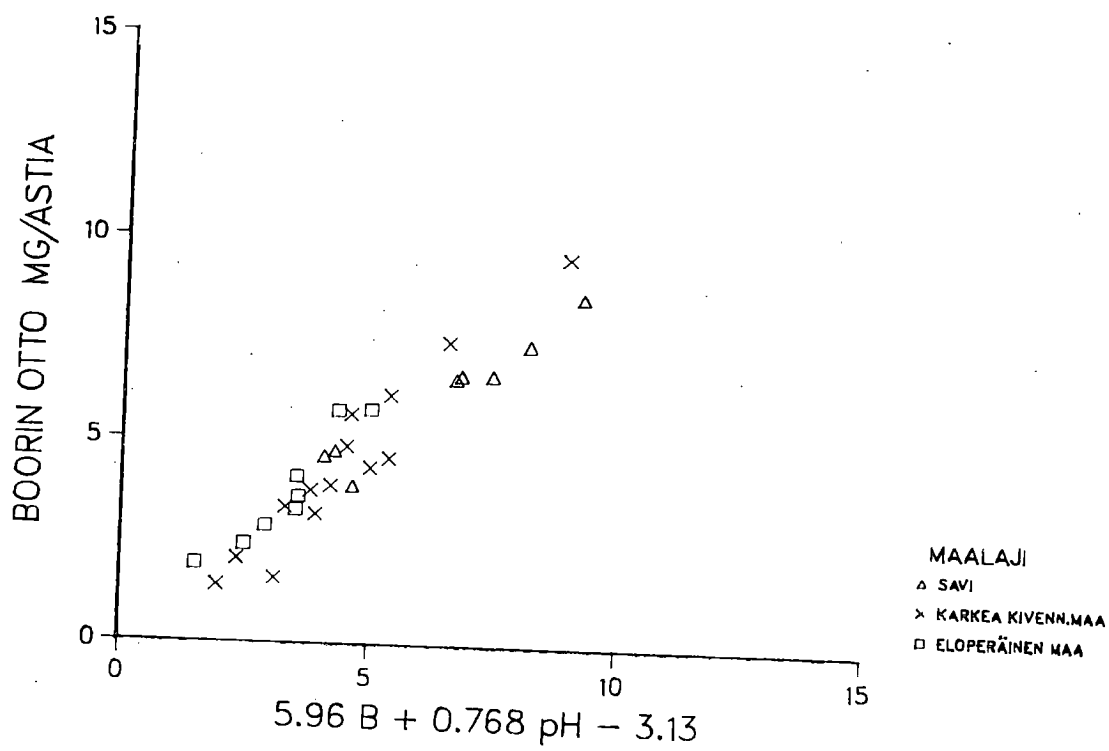
Rypsin kahden vuoden boorinoton riippuvuutta maa-analyysiluvuista maan booritestaus -kokeessa esitetään kuvissa 5-8. Kuumavesiliukoinen boori (kuva 5) osoitti boorin ottoa tyydyttävästi (selvitysaste $r^2 = 0,82$). Maan booriluvun ja rypsin boorinoton suhde oli hyvin samanlainen kaikilla maalajeilla, mutta hajonta oli suurin karkeilla kivennäismailla. Kun kuumavesiliukoisen boorin lisäksi maan booritilan regressioyhtälöön otettiin maan pH-luku (kuva 6), maa-analyysi ennusti boorin ottoa aika tarkasti, $R^2 = 0,89$.

Laimealla kalsiumkloridilla uuttuva eli "kylmävesiliukoinen" boori (kuva 7) ei osoittanut rypsillemme käyttökelpoista booria yhtä hyvin kuin kuumavesiliukoinen boori. Selvitysastetta $r^2 = 0,61$ ei astiakokeessa voida pitää tyydyttävänä. Kylmävesiuutto yliarvioi eloperäisten maiden suhteellisia boorivaroja. Maan pH-luvun ottaminen toiseksi selittäjäksi regressioyhtälöön (kuva 8) korjasi tätä vääristymää ja paransi selvitysasteen suhteellisen tyydyttäväksi, $R^2 = 0,79$, eli lähes samalle tasolle kuin kuumavesiliukoinen boori yksinään. Kylmävesiuutto näyttäisi olleen suhteellisesti paras karkeilla kivennäismailla, mutta liian pitkällemeneviä päätelmiä näin suppeasta aineistosta on varottava.

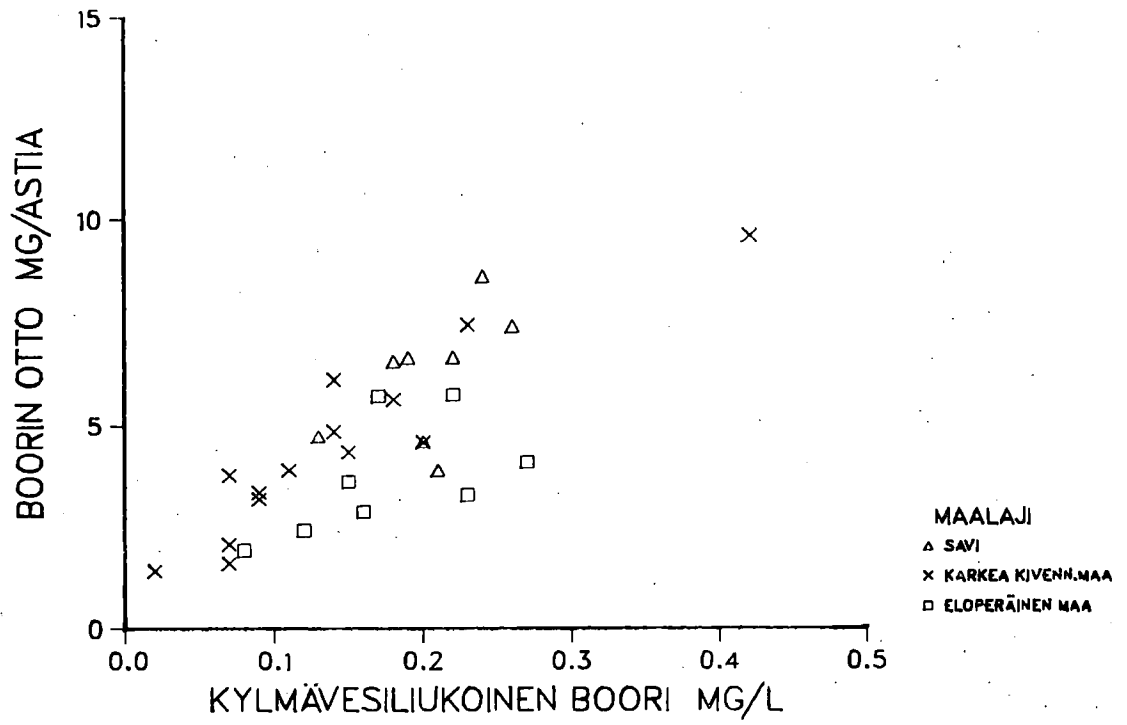
Rypsin boorinoton ja eri osien booripitoisuuden suhdetta maan kuumavesiliukoiseen booriin ja muihin maa-analyysilukuihin maan booritestaus -kokeessa esitetään regressioyhtälöillä selvitysasteineen taulukossa 13. Rypsin lehtien ja varsien



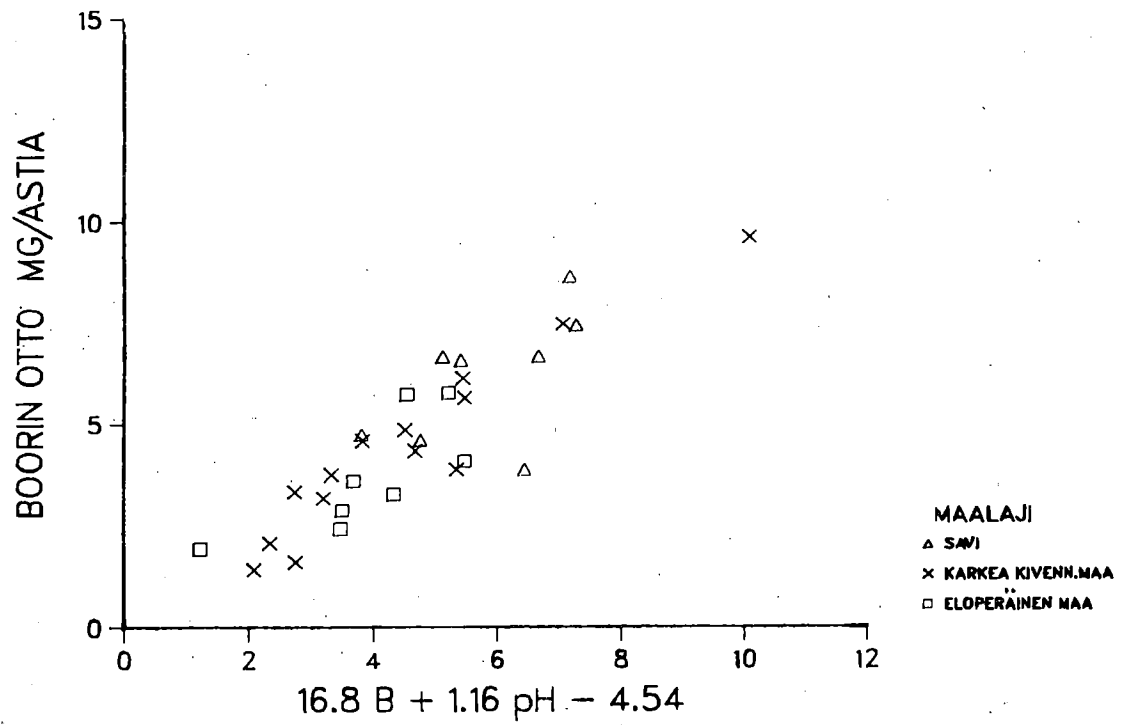
Kuva 5. Rypsin boorinoton riippuvuus maan kuumavesiliukoisesta boorista.



Kuva 6. Rypsin boorinoton riippuvuus maan kuumavesiliukoisesta boorista ja pH:sta.



Kuva 7. Rypsin boorinoton riippuvuus maan kylmävesiliukoisesta boorista.



Kuva 8. Rypsin boorinoton riippuvuus maan kylmävesiliukoisesta boorista ja pH:sta.

booripitoisuus oli lähes yhtä kiinteässä vuorosuhteessa maa-analyysilukuihin kuin boorin otto. Kuumavesiliukoinen boori kokeen alussa selvitti boorin ottoa tarkemmin toisena kuin ensimmäisenä vuonna. Tämä johtui ilmeisesti epätasaisemmasta kasvusta ensimmäisenä vuonna mm. toista kylvöä vaivanneiden sienien takia. Toisen vuoden boorinottoa edellisen vuoden kevään ja syksyn boorianalyysit osoittivat yhtä tarkasti.

Rypsin boorinotto riippui maan pH:sta voimakkaammin toisena kuin ensimmäisenä vuonna. Kylmävesiliukoisen boorin kanssa pH:n boorinottokerroin näyttää olevan suurin, mutta ero muihin yhtälöihin ei ole merkitsevä. Rypsin varsien ja lehtien booripitoisuutta happamuus ei selittänyt. Muista maan ominaisuuksista savespitoisuus oli positiivisessa vuorosuhteessa lehtien booripitoisuuteen ja boorin ottoon vuonna 1981. Huomionarvoista on, että suuresti vaihteleva maan orgaanisen hiilen pitoisuus ei tullut askeltavassa regressioanalyysissä viiden prosentin riskitasolla mukaan yhteenkään yhtälöön.

Maan booritestaus -kokeen 30 maan kylmävesiliukoisen boorin pitoisuus oli keskimäärin 0,17 mg/l eli 28 % kuumavesiliukoisen boorin vastaavasta keskiarvosta 0,60 mg/l. Yksittäisten maiden osalta menetelmien tulosten suhteen vaihtelu oli suuri (kuva 9). Suurten lukujen suhde vaihteli vähemmän kuin pienten. Menetelmien välinen lineaarinen kokonaiskorrelaatiokerroin (r) oli 0,78. Ensimmäisen vuoden kevään ja syksyn välillä vastaava kerroin oli kuumavesimenetelmällä 0,92 ja kylmävesimenetelmällä 0,78. Syksyn näytteissä kahden kerranneastian välinen keskihajonta oli kummallakin menetelmällä sama, 0,034 mg B/l, mutta vaihtelukerroin oli kylmän veden uuttamista pienistä boorimääristä suurempi, kokonaista 20 %, kun se kuumalla vedellä oli vain 5,5 %. Kuumavesiliukoisen boorin määrittämisessä karminimenetelmällä rinnakkaismääritysten vaihtelukerroin on ollut 10,8 % (SIPPOLA ja TARES 1978). Maan booritestaus -kokeen alkuperäiset tulokset ovat sivuilla 128-132.

Kylmävesiliukoisen boorin huonompi korrelaatio rypsin astiakokeessa ottaman boorin kanssa näyttää johtuvan ainakin osittain, ehkä kokonaankin, liian laimean booriutteen epätarkasta määrittämisestä. Kenttäkokeissa, joissa maan booripitoisuus ei ole kovin alhainen ja joista määrityksiä tehtiin useammasta kerranteesta, kylmä- ja kuumavesiliukoisen boorin suhde on ollut varsin kiinteä, välillä 0,32-0,38 (taulukko 14). Rypsin lehtianalyysien mukaan kumpaakaan menetelmää ei voitane asettaa kenttäkokeissa toisen edelle. Askettäin julkaistussa australialaisessa tutkimuksessa (CARTWRIGHT ym. 1983) 0,01 M CaCl_2 (pH 8,5) ei ollut kalkkipitoisilla mailla tyydyttävä, mutta 0,05 M mannitolin lisääminen paransi tulosta.

Taulukko 13. Rypsin boorinoton ja booripitoisuuden riippuvuus maa-analyysiluvuista.

| Riippuva muuttuja | Riippumattomat muuttujat ja niiden kertoimet luotettavuusrajoineen (5 %) | Selvitysaste |
|-----------------------------|---|--------------|
| B:n otto -80 mg/astia | = 2,91 B1 ±0,48 ±0,81 ±0,54 | $r^2 = 0,66$ |
| " | = 6,89 B1 ±3,12 (B1) ² ±0,30 pH ±2,23 ±3,94 ±2,38 -0,27 ±1,75 | $R^2 = 0,76$ |
| B:n otto -81 mg/astia | = 4,06 B1 ±0,02 ±0,76 -0,50 | $r^2 = 0,81$ |
| " | = 3,39 B1 ±0,51 pH ±2,37 ±0,64 -0,22 ±1,10 | $R^2 = 0,90$ |
| " | = 6,47 B2 ±0,60 ±1,35 ±0,67 | $r^2 = 0,78$ |
| " | = 4,83 (B2) ² ±0,48 pH ±1,42 ±1,10 -0,26 ±1,31 | $R^2 = 0,86$ |
| " | = 26,0 (B4) ² ±0,73 pH ±0,018 S-% ±2,72 ±5,1 -0,34 -0,012 ±1,16 | $R^2 = 0,75$ |
| B:n otto -80-81 mg/astia | = 6,97 B1 ±0,50 ±1,25 ±0,82 | $r^2 = 0,82$ |
| " | = 5,96 B1 ±0,77 pH ±3,13 ±1,11 -0,38 ±1,89 | $R^2 = 0,89$ |
| " | = 20,3 B3 ±1,30 ±6,3 ±1,12 | $r^2 = 0,61$ |
| " | = 16,8 B3 ±1,16 pH ±4,54 ±4,9 ±0,49 ±3,73 | $R^2 = 0,79$ |
| B-pit. varret mg/kg -81 | = 28,4 B2 ±1,8 7,0 ±3,5 | $r^2 = 0,71$ |
| " | = 78,8 (B2) ² ±58,6 B2 ±23,3 ±28,8 ±32,2 ±8,2 | $R^2 = 0,87$ |
| B-pit. lehdet mg/kg -81 | = 42,8 B2 ±5,8 ±11,4 ±5,7 | $r^2 = 0,68$ |
| " | = 31,4 (B2) ² ±0,12 S-% ±15,8 ±10,5 -0,09 ±8,2 | $R^2 = 0,76$ |

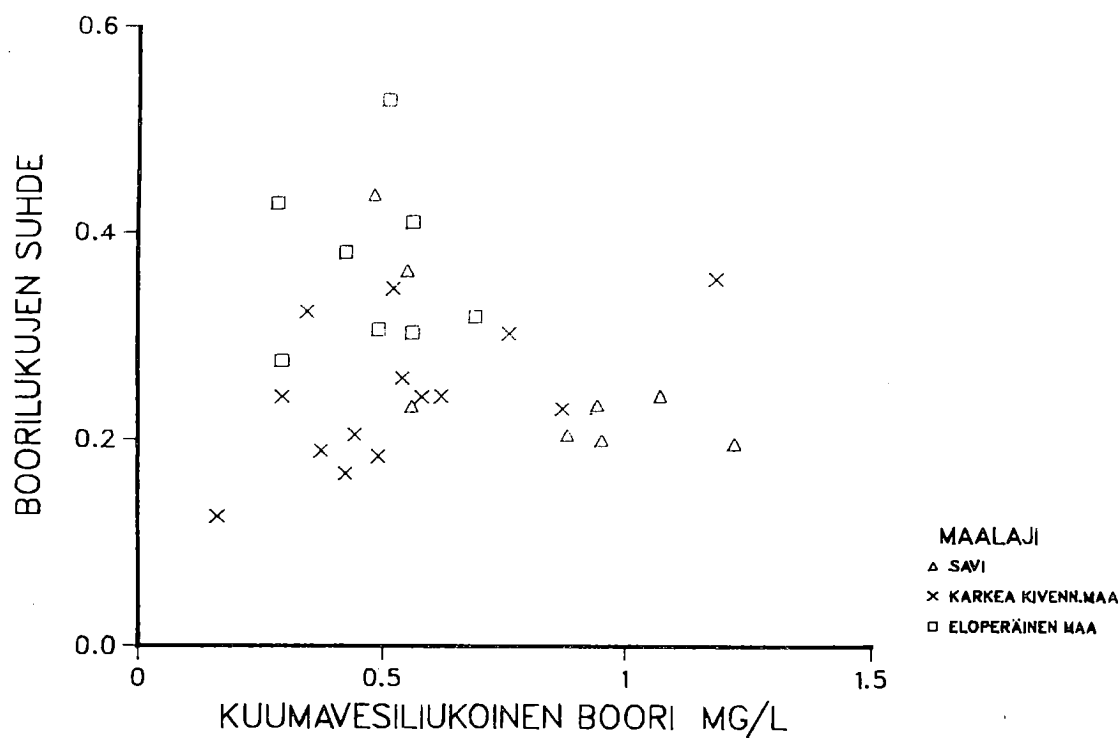
B1 = kuumavesiliukoinen boori kokeen alussa, mg/l

B2 = " " syksyllä 1980, mg/l

B3 = kylmävesiliukoinen boori kokeen alussa, mg/l

B4 = " " syksyllä 1980, mg/l

S-% = saves-%



Kuva 9. Kylmävesiliukoisen ja kuumavesiliukoisen maan boorin suhde.

Taulukko 14. Maan booripitoisuus (mg/l) ja ilman boorilannoitusta viljellyn rypsin lehtien booripitoisuus (mg/kg).

| | Jokioinen Aitosavi | Jokioinen Hiuesavi | Mietoinen Hieta | Kokemäki Hiue |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Kylmävesiliukoinen B | 0,26 | 0,31 | 0,22 | 0,24 |
| Kuumavesiliukoinen B | 0,69 | 0,97 | 0,62 | 0,64 |
| Edellisten suhde | 0,38 | 0,32 | 0,35 | 0,38 |
| Lehtien B | | | | |
| 1981 | 44 | 30 | 39 | 30 |
| 1982 | 38 | 37 | 54 | 40 |
| 1983 | | 30 | 28 | 32 |
| 1981-83 | 42 | 32 | 40 | 34 |
| Boorin suhde | | | | |
| Lehti/kylmävesiliukoinen | 161 | 103 | 182 | 142 |
| Lehti/kuumavesiliukoinen | 61 | 33 | 65 | 54 |

3. Lisätyn boorin pidättyminen maahan ja liikkuminen maaprofiilissa

Kuumavesiliukoisen boorin määrityksessä juuri ennen uuttua maahan lisätty boori on uuttunut melkein kokonaan (BERGER ja TRUOG 1939, GUPTA 1967b) tai 68-70 prosenttisesti (GUPTA ja STEWART 1975). Lisätyn boorin jakaantumista eri fraktioihin astiakokeissa esitetään taulukoissa 15-18. Sarake "otto" lisätystä

Taulukko 15. Kalkituksen ja boorilannoituksen vaikutus rypsin boorinottoon ja maan kuumavesiliukoiseen booriin kolmella maalla (mg/maalitra) sekä lasketut boorifraktioiden osuudet.

| Kalkitus g/l | Maan pH (CaCl ₂) | Boori- lannoitus | Boorin otto | Liukoinen B maassa | Lisätystä boorista % | | |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------|--------------|
| | | | | | Otto | Liukoinen | Liukenematon |
| Hiusesavi (alusssa 0,95 mg B/l) | | | | | | | |
| 0 | 5,0 ^a | 0 | 0,37 ^{ab} | 0,75 ^a | | | |
| 2,4 | 5,9 ^b | 0 | 0,29 ^a | 0,75 ^a | | | |
| 4,8 | 6,7 ^c | 0 | 0,26 ^a | 0,81 ^a | | | |
| 0 | 5,0 ^a | 2 | 0,61 ^d | 1,60 ^b | 12 | 43 | 45 |
| 2,4 | 5,9 ^b | 2 | 0,50 ^{cd} | 1,71 ^b | 11 | 48 | 41 |
| 4,8 | 6,7 ^c | 2 | 0,47 ^{bc} | 1,71 ^b | 11 | 45 | 44 |
| Hietamoreeni (alusssa 0,49 mg B/l) | | | | | | | |
| 0 | 4,4 ^a | 0 | 0,10 ^a | 0,33 ^a | | | |
| 2,4 | 5,5 ^b | 0 | 0,10 ^a | 0,27 ^a | | | |
| 4,8 | 6,6 ^c | 0 | 0,07 ^a | 0,25 ^a | | | |
| 0 | 4,4 ^a | 2 | 0,25 ^b | 1,47 ^c | 8 | 57 | 35 |
| 2,4 | 5,5 ^b | 2 | 0,25 ^b | 1,37 ^c | 8 | 55 | 37 |
| 4,8 | 6,6 ^c | 2 | 0,20 ^b | 1,23 ^b | 7 | 49 | 44 |
| Saraturve (alusssa 0,42 mg B/l) | | | | | | | |
| 0 | 4,8 ^a | 0 | 0,20 ^a | 0,38 ^a | | | |
| 2,4 | 5,7 ^b | 0 | 0,14 ^a | 0,31 ^a | | | |
| 4,8 | 6,5 ^c | 0 | 0,10 ^a | 0,28 ^a | | | |
| 0 | 4,8 ^a | 2 | 0,62 ^b | 1,66 ^c | 21 | 64 | 15 |
| 2,4 | 5,7 ^b | 2 | 0,67 ^b | 1,31 ^b | 27 | 50 | 23 |
| 4,8 | 6,5 ^c | 2 | 0,60 ^b | 1,30 ^b | 25 | 51 | 24 |

boorista tarkoittaa rypsin versojen lannoiteboorin näennäistä hyväksikäyttöä (= versojen boorisisällön kyseisellä boorilannoituksella ja ilman boorilannoitusta kasvaneiden versojen boorisisällön erotus jaettuna lannoiteboorin määrällä) ja "liukoinen" on vastaavalla tavalla laskettu maan uuttuvan boorin lisääntyminen sekä "liukenematon" edellisten jäännös.

Taulukko 16. Kalkituksen ja boorilannoituksen vaikutus rypsin boorinottoon ja maan kuumavesiliukoiseen booriin happamalla Jokioisten hietasavella (mg/maailtra) sekä lasketut boorifraktioiden osuudet. Maan B alussa 0,52 mg/l.

| Kalkitus- aine | Maan pH (CaCl ₂) | Boori- lannoitus | Boorin otto | Liukoinen B maassa | Lisätystä boorista % | | |
|-------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------|--------------|
| | | | | | Otto | Liukoinen | Liukenematon |
| - | 4,4 ^a | 0 | 0,29 ^a | 0,25 ^{ab} | | | |
| CaCO ₃ | 5,3 ^c | 0 | 0,26 ^a | 0,30 ^{abc} | | | |
| CaCO ₃ | 6,6 ^d | 0 | 0,22 ^a | 0,28 ^{ab} | | | |
| CaCO ₃ | 7,1 ^e | 0 | 0,20 ^a | 0,26 ^{abc} | | | |
| CaSO ₄ | 4,5 ^a | 0 | 0,27 ^a | 0,31 ^{abc} | | | |
| Mg, K, Na - | 4,9 ^b | 0 | 0,28 ^a | 0,24 ^a | | | |
| - | 4,4 ^a | 0,8 | 0,54 ^{bcd} | 0,45 ^c | 31 | 25 | 44 |
| CaCO ₃ | 5,3 ^c | 0,8 | 0,57 ^{cd} | 0,41 ^{bc} | 39 | 14 | 47 |
| CaCO ₃ | 6,6 ^d | 0,8 | 0,50 ^{bc} | 0,36 ^{abc} | 35 | 10 | 55 |
| CaCO ₃ | 7,1 ^e | 0,8 | 0,47 ^b | 0,40 ^{abc} | 34 | 18 | 48 |
| CaSO ₄ | 4,5 ^a | 0,8 | 0,51 ^{bc} | 0,44 ^c | 30 | 16 | 54 |
| Mg, K, Na - | 4,9 ^b | 0,8 | 0,59 ^d | 0,32 ^{abc} | 39 | 10 | 51 |
| - | 4,4 ^a | 3,2 | 0,80 ^{fg} | 1,24 ^e | 16 | 31 | 53 |
| CaCO ₃ | 5,3 ^c | 3,2 | 0,83 ^g | 1,28 ^e | 18 | 31 | 51 |
| CaCO ₃ | 6,6 ^d | 3,2 | 0,71 ^e | 1,13 ^e | 15 | 27 | 58 |
| CaCO ₃ | 7,1 ^e | 3,2 | 0,74 ^{ef} | 0,85 ^d | 17 | 18 | 65 |
| CaSO ₄ | 4,5 ^a | 3,2 | 0,75 ^{ef} | 1,22 ^e | 15 | 28 | 57 |
| Mg, K, Na - | 4,9 ^b | 3,2 | 0,93 ^h | 1,14 ^e | 20 | 28 | 52 |

Ensimmäisen kasvukauden jälkeen Tikkurilan runsasravinteiseen hietasaveen jääneestä boorista oli näennäisesti puolet kuumavesiliukoista (taulukko 15). Hapamassa hietamoreenissa liukoinen osuus oli suurempi, mutta kalkitus näytti tässä maassa tehostaneen pidättymistä. Runsaimmin kuumaan veteen liukeni saraturpeeseen lisätty boori. Hapan Jokioisten hietasavi pidätti booria huomattavasti voimakkaammin kuin edelliset maat, liukenemattoman osuuden ollessa yli 50 % jo ensimmäisen kasvukauden jälkeen (taulukko 16). Kahden kasvukauden jälkeen hietasaveen lisätystä boorista oli kuumavesiliukoisena ilman kalkitusta 14 % ja runsaasti kalkittaessa vain 10 %. Muissa kivennäismaissa lisätystä boorista oli kuumavesiliukoisena lähes yhtä paljon kuin liukenemattomanakin (taulukko 17).

Taulukko 17. Boorilannoituksen vaikutus rypsin boorinottoon ja maan kuumavesiliukoiseen booriin astiakokeissa kahdessa vuodessa (mg/maalittra) sekä lasketut boorifraktioiden osuudet.

| Maa | Boori- lannoitus | Boorin otto | Liukoinen B maassa | Lisätystä boorista % | | |
|-------------|---------------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------|--------------|
| | | | | Otto | Liukoinen | Liukenematon |
| HeS | 0 | 0,61 | 0,54 | | | |
| | 2 | 1,25 | 1,13 | 32 | 30 | 38 |
| HtMr | 0 | 0,15 | 0,33 | | | |
| | 2 | 0,40 | 1,14 | 13 | 41 | 46 |
| HtS, pH 4,4 | 0 | 0,51 | 0,23 | | | |
| | 3,2 | 1,61 | 0,68 | 34 | 14 | 52 |
| HtS, pH 7,1 | 0 | 0,37 | 0,15 | | | |
| | 3,2 | 1,42 | 0,48 | 33 | 10 | 57 |

Runsas kalkitus vähensi boorin uuttumista enemmän kylmään kuin kuumaan veteen (taulukko 18). Uuttolämpötilan ja kalkituksen yhdysvaikutus oli heikko savimail-
la, mutta Mietoisten savisella karkealla hiedalla ja Jokioisten saraturpeella kalkitus näyttää pidättäneen booria kylmään veteen uuttumattomaan mutta kuumaan

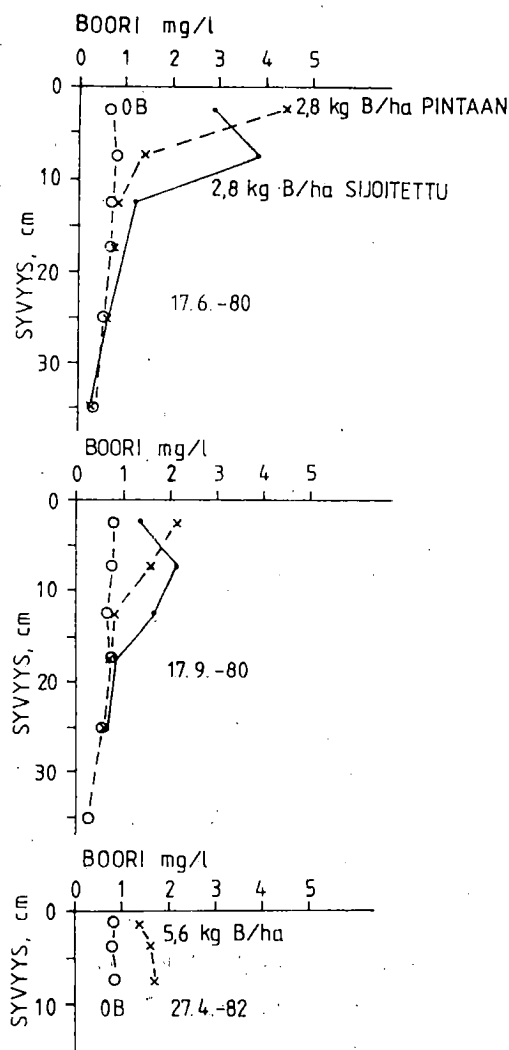
Taulukko 18. Boorin uuttuminen kuumaan ja kylmään veteen astiakoemaista kokeiden lopussa, Jokioisten hietasavesta kahden kasvukauden ja muista, pienten astioiden maista kahden kuukauden kuluttua lannoituksesta (s1 = suhdeluku).

| Maa | Boori- lannoitus mg/l | Maan pH (CaCl ₂) | Kuumavesiliukoinen | | Kylmävesiliukoinen | | | |
|-----------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|------|-----|
| | | | mg/l | s1 | 1:5 | | 1:20 | |
| | | | mg/l | s1 | mg/l | s1 | mg/l | s1 |
| Hietasavi | 0 | 4,4 | 0,23 | 100 | 0,12 | 100 | | |
| " | 0 | 7,1 | 0,15 | 65 | 0,08 | 67 | | |
| " | 3,2 | 4,4 | 0,68 | 100 | 0,23 | 100 | | |
| " | 3,2 | 7,1 | 0,48 | 71 | 0,13 | 56 | | |
| Hiuesavi | 0 | 5,4 | 0,81 | 100 | 0,30 | 100 | 0,82 | 100 |
| " | 0 | 7,1 | 0,60 | 74 | 0,23 | 77 | 0,77 | 94 |
| " | 2 | 5,4 | 1,84 | 100 | 0,87 | 100 | 1,57 | 100 |
| " | 2 | 7,1 | 1,58 | 86 | 0,57 | 66 | 1,33 | 85 |
| Hieta | 0 | 5,0 | 0,27 | 100 | 0,12 | 100 | 0,40 | 100 |
| " | 0 | 7,2 | 0,38 | 141 | 0,09 | 75 | 0,23 | 57 |
| " | 2 | 5,0 | 1,08 | 100 | 0,60 | 100 | 1,05 | 100 |
| " | 2 | 7,2 | 1,58 | 146 | 0,65 | 108 | 1,06 | 101 |
| Saraturve | 0 | 4,5 | 0,59 | 100 | 0,25 | 100 | 0,78 | 100 |
| " | 0 | 7,1 | 0,64 | 109 | 0,10 | 40 | 0,55 | 71 |
| " | 2 | 4,5 | 2,20 | 100 | 1,44 | 100 | 2,35 | 100 |
| " | 2 | 7,1 | 1,67 | 76 | 0,53 | 37 | 1,32 | 56 |

veteen uuttuvaan muotoon. Uuttosuhteen väljentämisellä oli samansuuntaista vaikutusta kuin kuumentamisella. Uuttosuhteella 1:20 kylmään veteen uuttuva boorimäärä oli samalla tasolla kuin kuumaan veteen kymmenen kertaa ahtaamalla uuttosuhteella uuttuva boorimäärä. Kahdeksalla peräkkäisellä kylmävesiuutolla lisätystä boorista ei "löytnyt" enempää kuin yhdellä kylmävesiuutolla, vaikka uuttuneen boorin kokonaismäärä nousi suuremmaksi.

Lannoituskokeissa boorin on todettu huuhtoutuvan savimaista paljon hitaammin kuin karkeammista maista (KUBOTA ym. 1948, WILSON ym. 1951). Pienten hiukkas-
ten suureen ominaispinta-alaan saattaa liittyä myös mm. orgaanisen aineen ja
aktiivisen alumiinin ja raudan pitoisuus (mm. PARKER ja GARDNER 1982). Runsaan
kalkituksen on havaittu vähentävän boorin liikkuvuutta maassa (JENSEN 1964,
BAKER ja MORTENSEN 1966). Runsaan boorilannoitus on lisännyt maan kuumavesiliu-
koista booria Suomessa vielä 5-6 vuoden kuluttua lannoituksesta (TAHTINEN 1970),
ja tavanomaisen boorilannoituksen vaikutus liukoiseen booriin on todettu kolmen
vuoden jälkeen (ERVIÖ 1970). Lannoiteboraatti on parantanut puna-apilan siemen-
satoja jopa 5-6 vuotta lannoituksen jälkeen (SALMINEN 1959).

Kenttäkokeissa noin 1200 maanäytteen perusteella tehdyt boorin liikkumisen ja
maan booritilan kehityksen selvitykset esitetään kuvissa 10-13 ja taulukossa 19.
Aitosavessa (kuva 10) lisätty boori näyttää olleen kesäkuun puolivälissä samas-
sa viiden senttimetrin kerroksessa, johon se oli keväällä sijoitettu. Edellisen



Kuva 10. Kuumavesiliukoinen boori Jokioisten aitosavessa.

viikon rankkasateet olivat poistuneet ilmeisesti pääosin pintavaluntana aiheuttamatta vastaavaa virtausta alaspäin, sillä johtoaaineena määritetyn sijoitetun nitraatin konsentraatiokäyrä oli samanmuotoinen kuin sijoitetun boorin vastaava käyrä. Syksyyn mennessä boori näyttää painuneen aitosavessa noin viisi senttimetriä. Keväällä 1982 aitosaven pinta ei ollut köyhtynyt boorista.

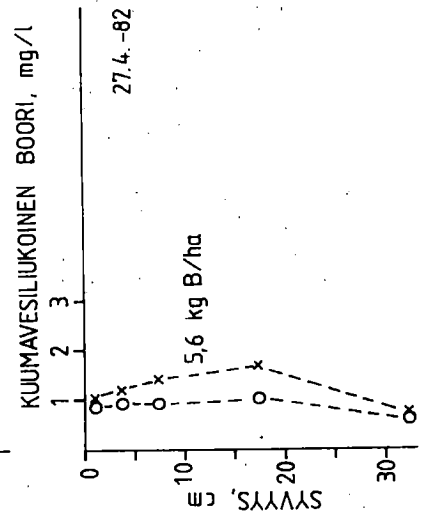
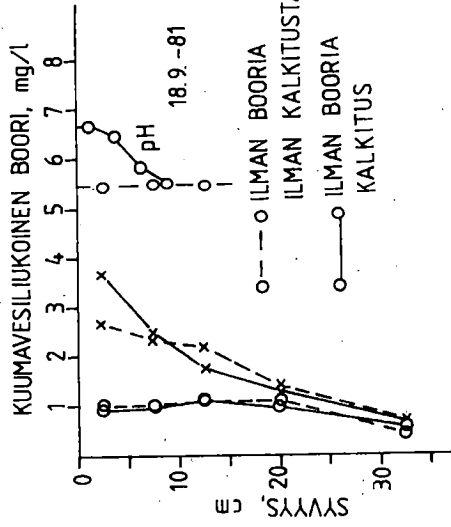
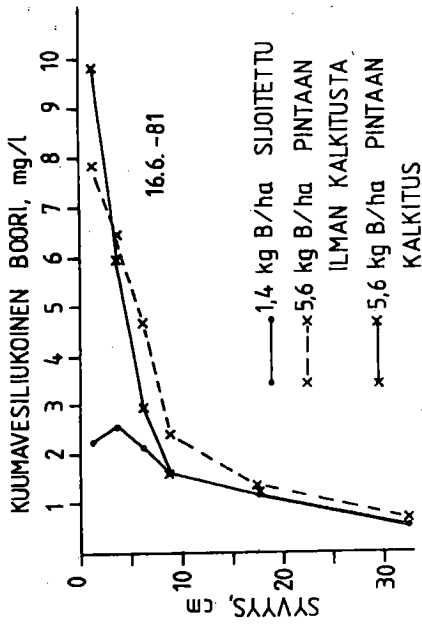
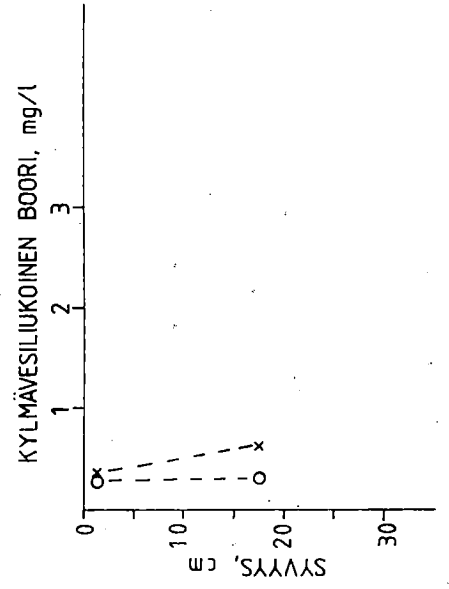
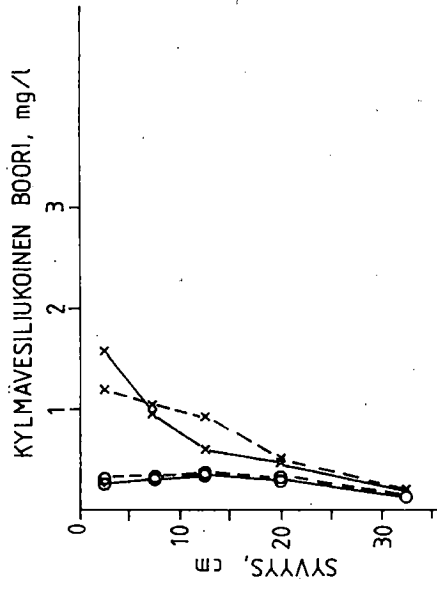
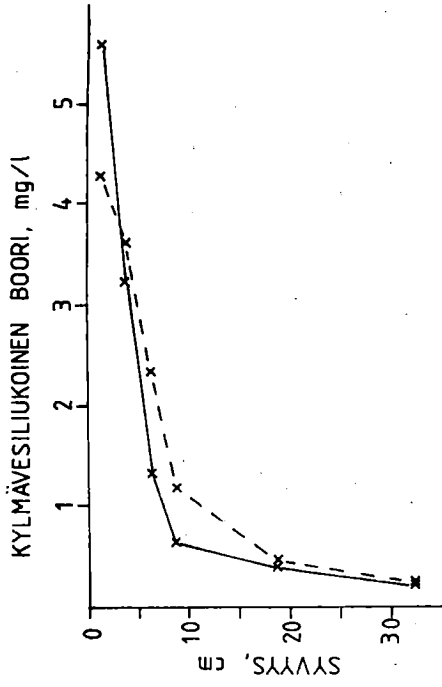
Hiuesavessa boori vajosi syvemmälle nopeammin kuin aitosavessa, kun maata ei kalkittu, mutta kalkitus hidasti lannoiteboorin liikkumista selvästi (kuva 11). Vaikka kalkituksen vaikutus liukoisen boorin määrään ei ollut yhdessäkään yksittäisessä kerroksessa merkitsevä, eri kerrosten suhteelliseen booripitoisuuteen kalkitus vaikutti erittäin merkitsevästi kerranteiden välisestä vaihtelusta huolimatta. Runsassateisen kasvukauden 1981 aikana booria siirtyi jonkin verran kyntökerroksen pohjaan saakka, mutta eniten liukoista booria oli ylimmässä viiden senttimetrin kerroksessa, ja kalkituksessa maassa vain pieni osa boorista näyttää vajonneen yli kymmenen senttimetrin syvyyteen.

Kylmävesiliukoisen boorin käyrät ovat hiuesavella melkein samanmuotoiset kuin kuumavesiliukoisen boorin vastaavat käyrät (kuva 11), mutta suhteelliset erot ovat vähän suuremmat. Ilman boorilannoitusta kylmävesiliukoinen boori oli noin 30 prosenttia kuumavesiliukoisesta boorista, mutta booripitoisuuden kasvaessa tämä suhdeluku nousi yli 50 prosenttiin. Hiuesaven alkuperäinen boori oli keväällä 1982 jakaantunut tasaisesti kyntökerroksen syvyydellä boorilisäyksen tuntuessa heikommin maan pinnassa.

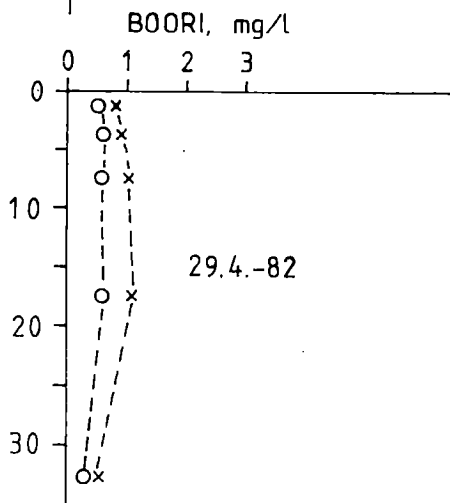
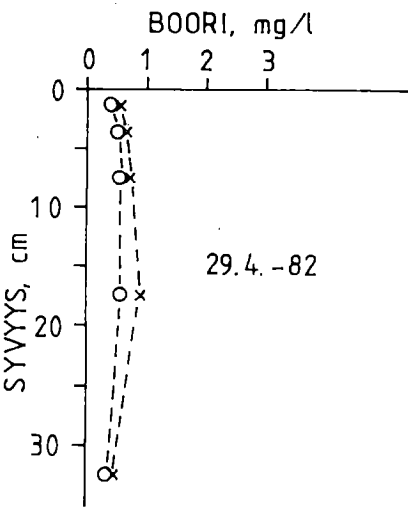
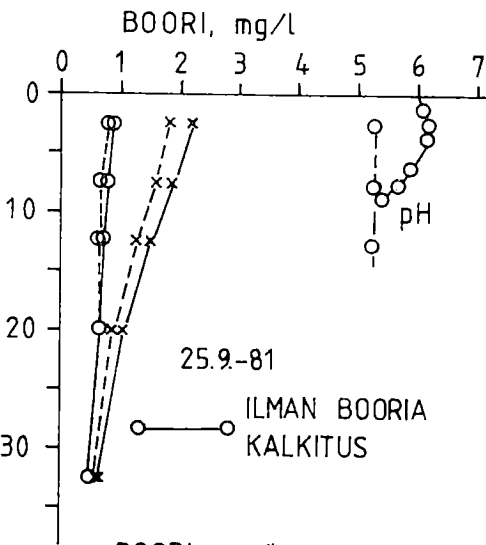
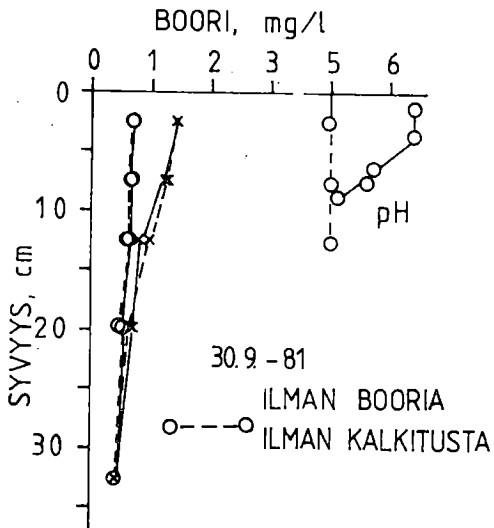
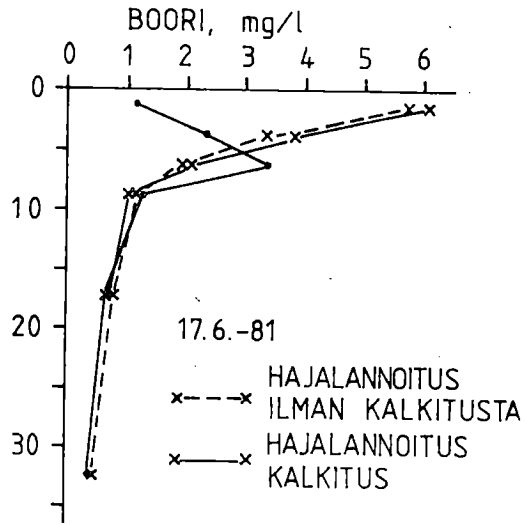
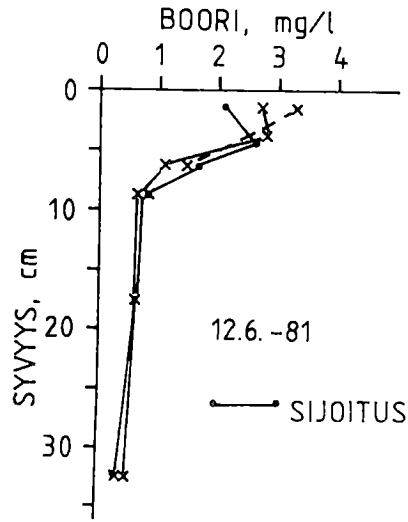
Hiedassa ja hiukeessa boorin liikkuvuus näyttää olleen samanlainen kuin kalkittomassa hiuesavessa, mutta kalkituksella ei ollut näillä karkeammilla mailla selvää vaikutusta (kuva 12). Keväällä 1982 Mietoisten savisen karkean hiedan pinnasta booria näyttää jonkin verran huuhtoutuneen syvemmälle.

Kokeen lopussa kolmannen kasvukauden jälkeen maan booritila oli eri boorilannoitustasoilla selvästi erilainen (taulukko 19). Kyntökerroksessa erot olivat suurimmat savimaissa, mutta jankossa erot olivat merkitseviä vain karkeissa maissa. Kaikilla koepaikoilla kuumavesiliukoista booria oli kyntökerroksessa enemmän kuin syvemmällä. Pohjamaassa liukoista booria oli kaikkein vähiten aitosavessa ja eniten hiedassa, jonka booripitoisuus oli muista kentistä poiketen suurempi pohjamaassa kuin jankossa.

Kun rypsi ottaa vain hyvin pienen osan käyttökelpoisesta maan boorista, se osalisetystään boorista, joka ei tule näkyviin maan liukoisen boorin lisäyksenä, on käytännöllisesti katsoen kokonaan joko poistunut maasta tai pidättynyt liukenemattomaksi. Kun haihtumisella maasta ei liene merkitystä, ovat huuhtoutuminen ja pidättyminen ainoat huomionarvoiset liukoisen boorin katoamistavat.



Kuva 11. Liukoinen boori Jokioisten hiesavessa.

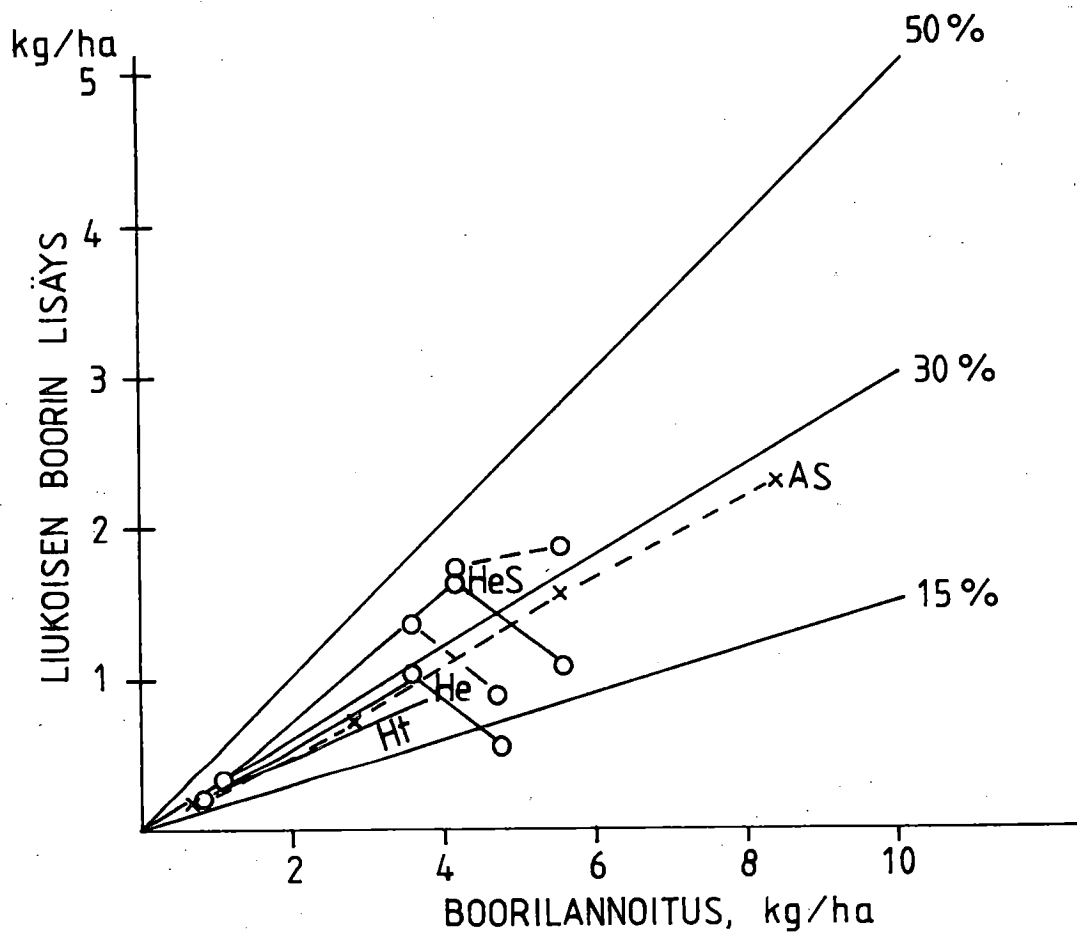


Kuva 12. Kuumavesiliukoinen boori Mietoisten hiedassa (vas.) ja Kokemäen hiukeessa.

Taulukko 19. Kuumavesiliukoinen boori kokeiden lopussa eri syvyyksissä kalkitsemattomassa (Ca₀) ja kalkitussa (Ca₁) maassa, mg/l.

| Boorilannoitus | | Kyntökerros | | Jankko | | Pohjamaa | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| kg B/ha | lann.- | 0-25 cm | | 25-50 cm | | 50-75 cm | |
| yht./ 3 v. | tapa | Ca ₀ | Ca ₁ | Ca ₀ | Ca ₁ | Ca ₀ | Ca ₁ |
| Aitosavi, Jokioinen | | | | | | | |
| pH(H ₂ O) | | 6,3 | | 6,2 | | 6,5 | |
| 0,1 | sijoitus | 0,69 ^a | | 0,27 ^a | | 0,12 ^a | |
| 0,7 | " | 0,83 ^{ab} | | 0,28 ^a | | 0,11 ^a | |
| 2,8 | " | 0,97 ^b | | 0,32 ^a | | 0,12 ^a | |
| 2,8 | varasto | 0,99 ^b | | 0,27 ^a | | 0,10 ^a | |
| 5,6 | sijoitus | 1,33 ^c | | 0,32 ^a | | 0,18 ^a | |
| 8,4 | varasto + sijoitus | 1,61 ^d | | 0,32 ^a | | 0,14 ^a | |
| Hiuesavi, Jokioinen | | | | | | | |
| pH(H ₂ O) | | 6,0 | 6,4 | 6,6 | 6,6 | 6,8 | 6,8 |
| 0,2 | sijoitus | 1,02 ^a | 0,98 ^a | 0,45 ^a | 0,53 ^a | 0,29 ^a | 0,40 ^a |
| 1,1 | " | 1,15 ^a | 1,10 ^a | 0,49 ^a | 0,55 ^a | 0,34 ^a | 0,35 ^a |
| 4,2 | " | 1,57 ^{bc} | 1,73 ^c | 0,48 ^a | 0,52 ^a | 0,34 ^a | 0,40 ^a |
| 5,6 | varasto | 1,49 ^{bc} | 1,41 ^b | 0,64 ^a | 0,63 ^a | 0,45 ^a | 0,38 ^a |
| Savinen karkea hieta, Mietoinen | | | | | | | |
| pH(H ₂ O) | | 5,5 | 6,0 | 5,4 | 5,5 | 5,4 | 5,5 |
| 0,2 | sijoitus | 0,76 ^a | 0,80 ^a | 0,46 ^{ab} | 0,37 ^{ac} | 0,54 ^a | 0,43 ^a |
| 0,9 | " | 0,87 ^{ab} | 0,91 ^{ab} | 0,38 ^{ad} | 0,42 ^{ab} | 0,49 ^a | 0,57 ^a |
| 3,8 | " | 1,03 ^{bc} | 1,21 ^c | 0,51 ^{bc} | 0,54 ^{bd} | 0,53 ^a | 0,53 ^a |
| (15,0) | haja | 1,95 ^d | 2,12 ^d | 0,60 ^{bc} | 0,51 ^{bd} | 0,55 ^a | 0,53 ^a |
| Hiue, Kokemäki | | | | | | | |
| pH(H ₂ O) | | 6,0 | 6,3 | 6,8 | 6,8 | 7,0 | 7,1 |
| 0,2 | sijoitus | 0,54 ^a | 0,59 ^a | 0,21 ^a | 0,27 ^{ab} | 0,21 ^a | 0,23 ^a |
| 0,9 | " | 0,59 ^a | 0,67 ^{ab} | 0,23 ^{ab} | 0,25 ^{ab} | 0,18 ^a | 0,21 ^a |
| 3,6 | " | 0,90 ^{de} | 1,04 ^e | 0,35 ^b | 0,33 ^{ab} | 0,27 ^a | 0,21 ^a |
| 4,8 | varasto | 0,72 ^{bc} | 0,84 ^{cd} | 0,30 ^{ab} | 0,32 ^{ab} | 0,25 ^a | 0,27 ^a |

Kuvassa 13 esitetään, kuinka suurta osaa lisätystä boorista maan liukoisen boorin pitoisuudessa mitatut lannoitteiden väliset erot vastaavat. Astiakokeissa maahan lisätystä boorista oli kahden vuoden kuluttua kuumavesiliukoista alle puolet (taulukko 16, s. 43) ja boorin lisäys oli 2-6-kertainen liukoisen boorin lisäykseen verrattuna. Savimailla huuhtoutuminen näyttää olleen vähäistä lukuunottamatta varastolannoituksena annetun boorin siirtymistä jankkoon hiuesavessa. Booripitoisen Y-lannoksen boorista oli kokeiden lopussa maassa kuumavesiliukoisena karkeammissa maissa lähes yhtä suuri osuus kuin savimaissa.



Kuva 13. Kuumavesiliukoisen boorin lisäys kokeiden lopussa verrattuna lannoituksessa maalitraa kohden annettuun boorimäärään. (Ylemmät pisteet HeS:lla ja He:lla tarkoittavat koko profiilia, muut pisteet ovat kyntökerroksen tuloksia.)

Tehdyt mittaukset osoittivat, että suurehkoina määrinä lisätty boori liikkuu maassa melko helposti. Toisaalta maan ohut pintakerros ei sanottavasti köyhtynyt boorista syysateiden valuessa sen läpi. Keväällä 1981 maahan lisätyn boorin verrattain nopea vajoaminen poikkeuksellisen sateisen kesän kuluessa saattaa antaa

boorista liian helposti liikkuvan kuvan. On lisäksi huomattava, että mitatut konsentraatiot ovat lisätyn ja maassa olleen boorin summia ja sellaisina osoittavat lisätyn boorin näennäistä liikkumista. Lisätyn boorin vaihtuminen pidättyneen maan boorin kanssa ei tosin vaikuta lainkaan lopputulokseen.

IV KASVIEN BOORI

1. Kasvien boorinotto ja boorin liikkuvuus kasveissa

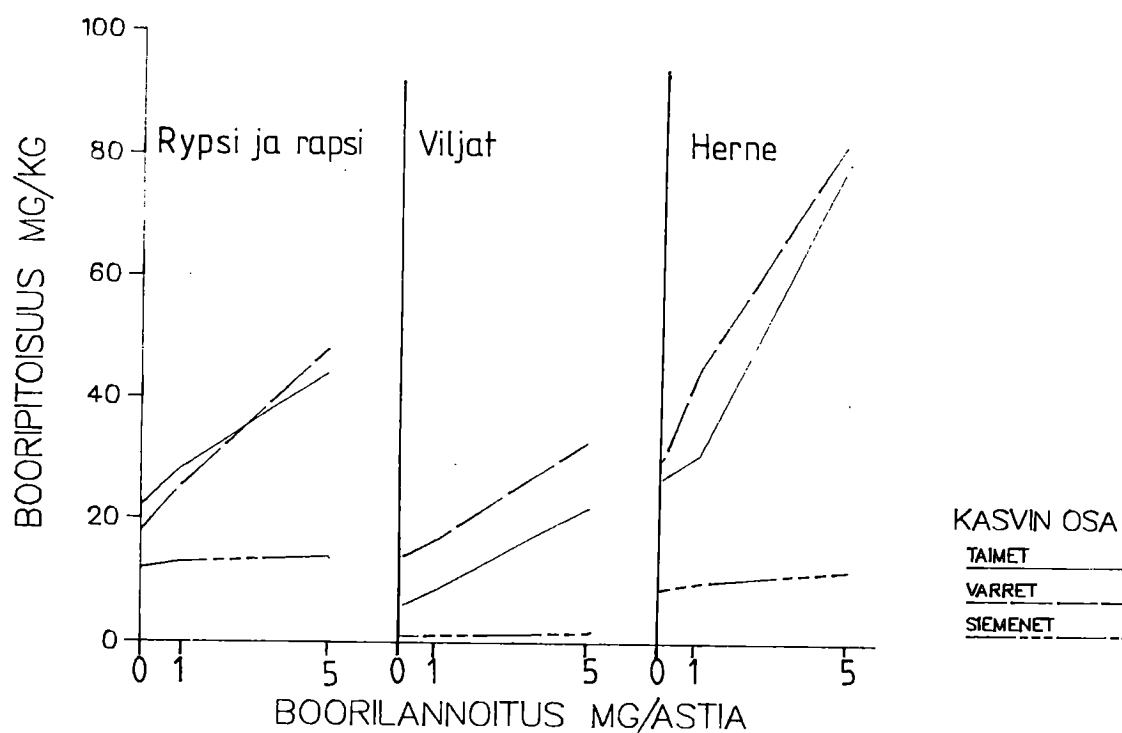
Kasvit ottavat boorin ilmeisesti boorihappona, joka hydrolysoituu boraattianioneiksi vain emäksisessä vesiliuoksessa. Boorin otton on havaittu pH:n noustessa hidastuvan samassa suhteessa kuin dissosioitumaton boorihappo vähenee (OERTLI ja GRGUREVIC 1975). Boori siirtynee kasviin pääasiassa passiivisesti haihtumisvirtauksen mukana (BINGHAM ym. 1970). Boorin otton estyminen alhaisessa lämpötilassa ja eräillä yhdisteillä osoittaa kuitenkin aineenvaihdunnan myötävaikutusta (BOWEN ja NISSEN 1977).

Boorin otton mekanismit tunnetaan vielä kovin puutteellisesti. Niitä on tutkittu pääasiassa ohralla (mm. kaikissa kolmessa edellä viitatussa tutkimuksessa), joka juuri boorin suhteen poikkeaa huomattavasti mm. kaikista öljykasveista. Eri kasvien booripitoisuudet ovat samoissakin olosuhteissa hyvin erilaisia (kuva 14). Rypsi ja rapsi haihduttavat vettä enemmän kuin viljat ja saavat näin booria passiivisesti enemmän, mutta ainakin ilman boorilannoitusta ja niukalla lannoituksella suhteelliset erot ovat boorin otossa suuremmat kuin veden otossa. Boorin siirtyminen eri nopeudella eri kasveihin johtunee juurten erilaisesta läpäisevyydestä ja/tai aktiivisen boorinoton eroista.

Kasvit ottavat boorin maasta veteen liuenneena. Maahiukkasten pinnoille pidättyneellä boorilla ei ole välitöntä vaikutusta kasvien boorinottoon (HATCHER ym. 1959). Vesiliukoinenkin boori on luonnollisessa maassa osittain pidättyneenä, ja sen käyttökelpoisuus on sen tähden vaihteleva (WEAR ja PATTERSON 1962). Maan kuivuessa boorin saanti vaikeutuu (HOBBS ja BERTRAMSON 1949).

Kasvin juuristosta versoon boori siirtyy johtosolukon puuosassa haihtumisvirtauksen mukana. BUSSLERin ja DÖRINGin (1979) mukaan solut ottavat booria ympärillään olevasta liuoksesta tarvitsemansa määrän, joka pidättyy veteen liukenemättömäksi. Jos boorin saanti on niukkaa, puutos alkaa kauimpana juurista olevassa verson latvassa. Ylimääräinen boori kulkeutuu lehtien kärkiin ja reunoihin, joiden booripitoisuus saattaa nousta tuhansiin milligrammoihin kilossa ja aiheuttaa solujen nopeaa tuhoutumista (OERTLI ja KOHL 1961). Haihtumisvirtaus on boorin saan-

nille niin tärkeä, että haihtumista estävä korkea ilman suhteellinen kosteus voi aiheuttaa jopa boorin puutosta, vaikka juurten boorinsaanti olisi riittävä (MICHAEL ym. 1969).



Kuva 14: Kasvilajien booripitoisuus.

Lehtiin kerääntyvä ylimääräinen boori pysyy helppoliukoisena (BUSSLER ja DÖRING 1979). Suuri osa siitä saattaa poistua guttaatiassa, joka näin mahdollisesti vähentää boorin myrkyllisyyttä (OERTLI 1962). Ilmeisesti myös sateet huuhtovat ylimääräistä booria pois lehdistä.

Boorin on todettu liikkuvan erittäin vaikeasti lehdistä takaisin varteen ja edelleen nuorempiin solukoihin. Jopa samassa kasvissa on havaittu ensin vanhemmissa lehdistä myrkytysoireita ja myöhemmin puutosoireita (HOBBS ja BERTRAMSON 1949). Joissakin tutkimuksissa boorin on kuitenkin todettu liikkuvan niin, että sen tarve voidaan tyydyttää kokonaan lehtien kautta (CHANDLER 1941). Boorin kertymisen omenoihin on katsottu epäsuorasti osoittavan boorin helposti liikkuvaksi ravinteeksi (van GOOR ja van LUNE 1980).

Boorin liikkumattomuus kasveissa johtuu OERTLIN ja RICHARDSONIN (1970) mukaan sen vapaasta diffuusiosta johtojänteiden puu- ja nilaosan välillä. Paikallises-
sa tasapainossa oleva aine ei kulkeudu haihtumisvirtausta vastaan. Haihtumis-
virtauksen kääntäminen ohran lehdessä käänsi myös boorin liikkumissuunnan
(OERTLI ja AHMED 1971). Boorin näennäinen liikkumattomuus kasveissa näyttää
johtuvan sen erittäin helposta liikkuvuudesta solutasolla.

2. Kalkituksen vaikutus kasvien boorinsaantiin

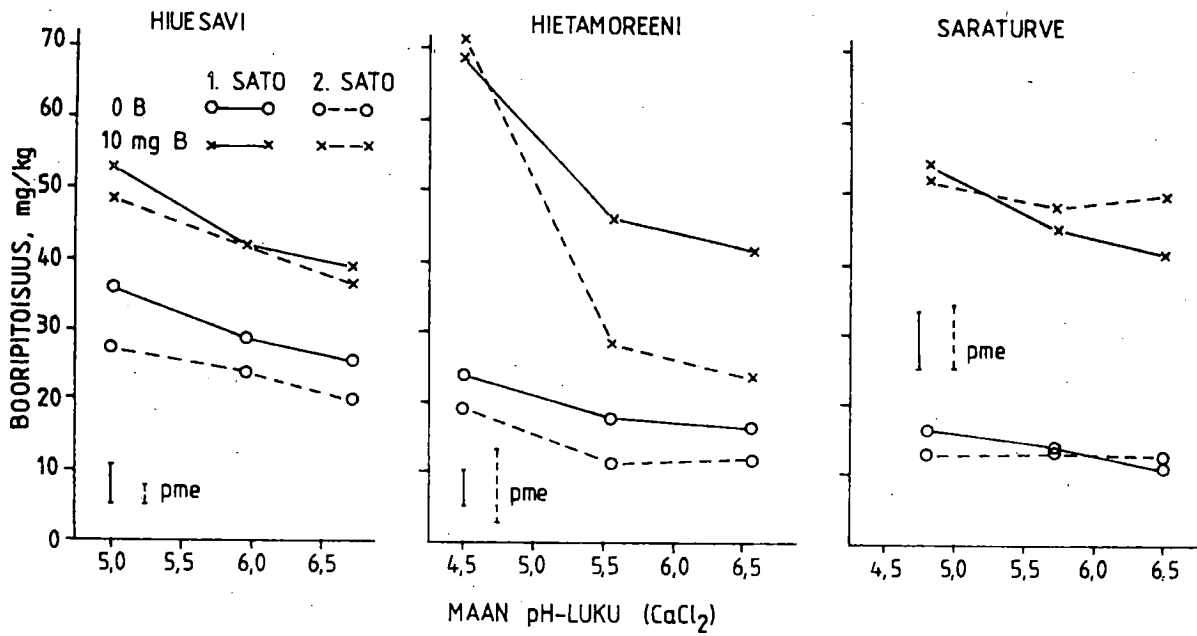
Juurikkaiden sydänmädän esiintymisen huomattiin liittyvän maan reaktioon ennen
kuin boorin osuutta siihen tunnettiin. Taudin oli epäilty johtuvan jopa suoraan
maan emäksisyydestä (BRANDENBURG 1931). Kalkituksen boorin saantia hidastava
vaikutus on osoitettu erittäin monissa tutkimuksissa (mm. TRUNINGER 1944, JAMA-
LAINEN 1949, GUPTA ja CUTCLIFFE 1972, PRASAD ja BYRNE 1975, PETERSON ja NEWMAN
1976, PUUSTJARVI 1980, NILSSON 1982).

Kalkitukseen liittyvistä mekanismeista on edellä tarkasteltu boorin pidättymi-
sen voimistumista maan pH:n noustessa ja emäksisessä vesiliuoksessa esiintyvän
anionimuodon ainakin näennäisesti vaikeampaa ottoa. Liuoksen korkea kalsium-
pitoisuus on korkeaan pH-lukuun liittyneenä vähentänyt boorin ottoa voimakkaas-
ti puuvillalla, mutta vain vähän mailasella (FOX 1968). PUUSTJARVEN (1980) mu-
kaan turpeen pH vaikuttaa boorinottoon jopa enemmän kuin puristenesteen booripi-
toisuus ja puutosta esiintyy helposti, jos pH on yli 6,3.

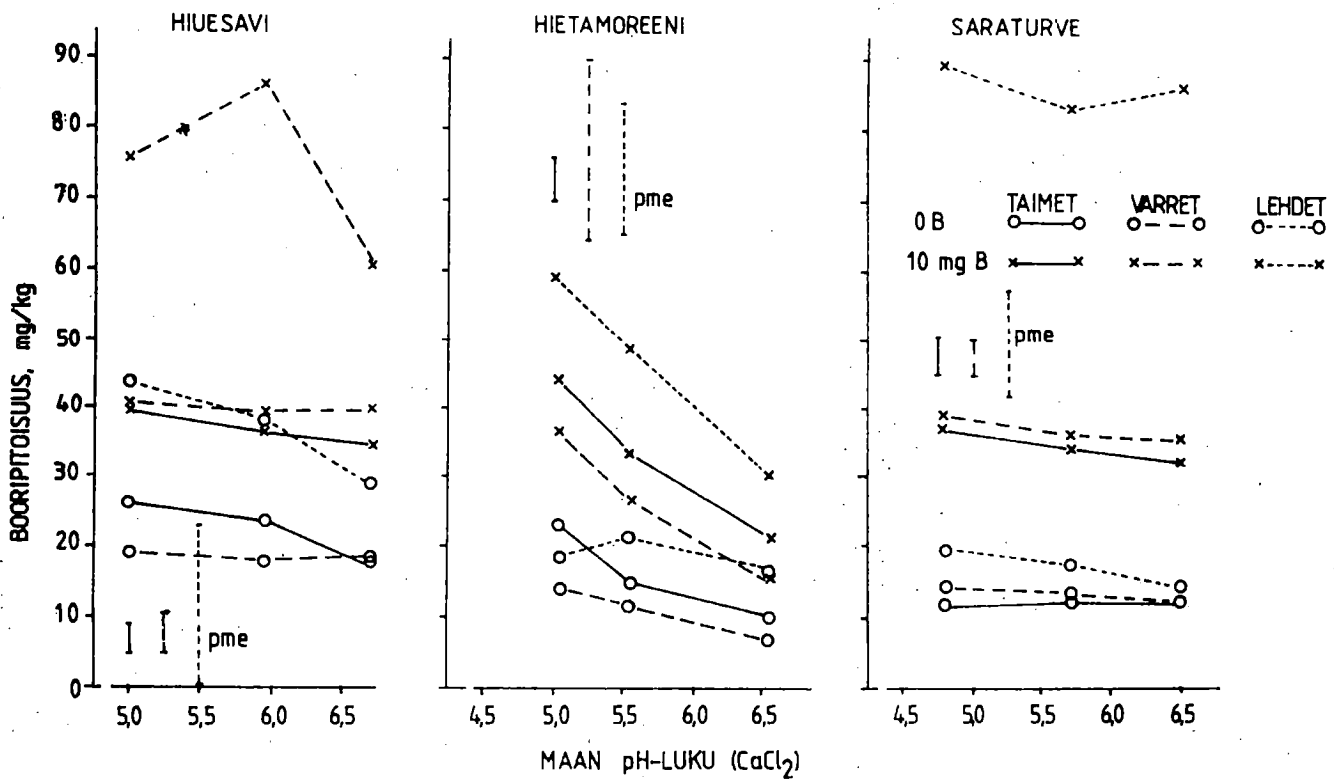
Kalkituksen vaikutus booriin näyttää liittyvän melko kiinteästi maan pH:n muu-
tokseen. Kalsiumsulfaatti ei ole vähentänyt kasvin boorinottoa juuri lainkaan
(BLAMEY ja CHAPMAN 1979, GUPTA ja MACLEOD 1981), mutta magnesiumkarbonaatti on
vaikuttanut kuten kalsiumkarbonaatti (GUPTA 1979b). Mahdollisesti joissakin ta-
pauksissa tärkeäkin "vaikutusmekanismi", jota ei tulisi unohtaa, on maan boorin
määrän lisääntyminen kalkitusaineen boorisisältöä vastaavasti (esim. TRUNINGER
1944).

Kalkitus hidasti rypsin boorinottoa kaikilla työssä tutkituilla mailla, mutta
eri mailla hyvin eri voimakkuudella. Ensimmäisessä kokeessa vaikutus oli heikoin
saraturpeella, jolla kalkitus alensi vain ensimmäisen sadon booripitoisuutta
(kuva 15). Hiuesavella kukkivien rypsin versojen booripitoisuus laski pH:n
noustessa tasaisen loivasti, mutta toisena vuonna sama suunta jatkui vain tai-
missa varsien booripitoisuuden ollessa pH:sta riippumaton ja lehtien epäsään-
nöllinen (kuva 15). Vaikka kalkitus boorin ottoa vähentämällä toisaalta säästi
maan boorivaroja ja maan pH-luvut jonkin verran tasoittuivat, alensi kalkitus

RYP SIN VERSOJEN BOORIPITOISUUS VUONNA 1980



RYP SIN BOORIPITOISUUS VUONNA 1981



Kuva 15. Kalkituksen vaikutus rypsin eri osien booripitoisuuteen kolmella maalla.

rypsin taimien booripitoisuutta hiuesavella eniten kolmantena vuonna (kuva 16, 3. v:llä merkityt tulokset, muut ovat ensimmäisen vuoden tuloksia).

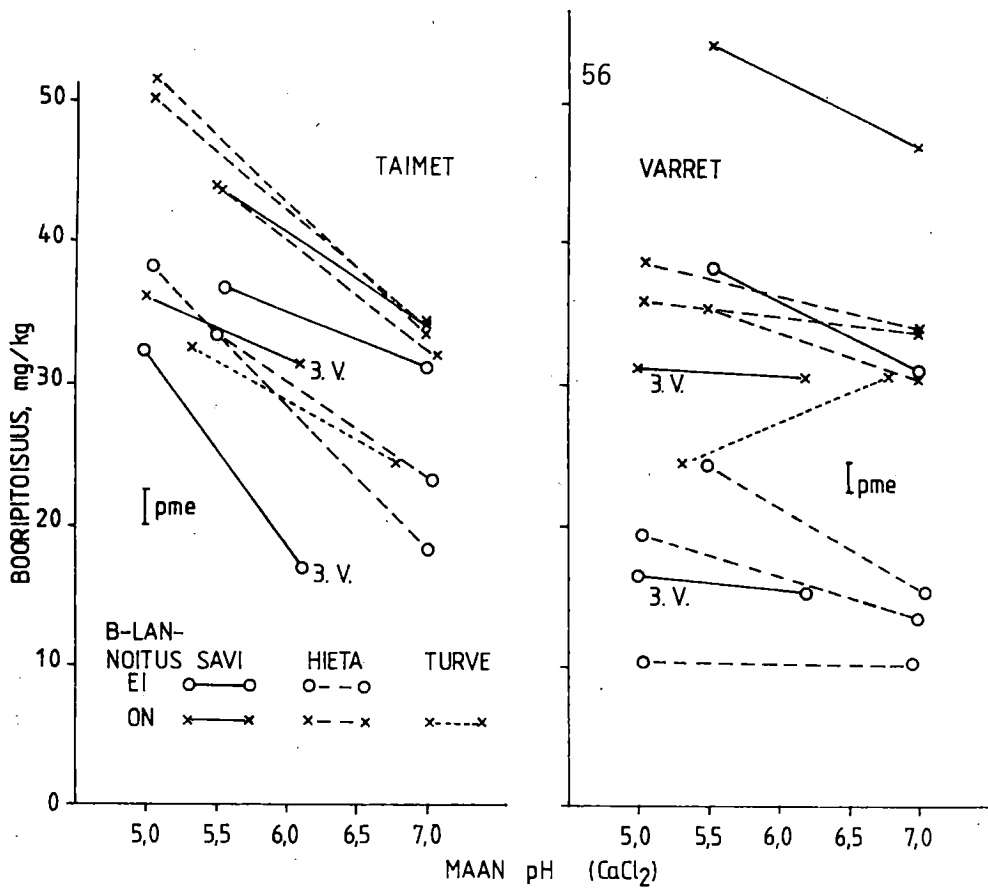
Hietamoreenilla kalkitus esti boorin ottoa voimakkaasti. Ensimmäisen vuoden toisessa sadossa pH:n vaikutus oli lähes yhtä suuri kuin runsaan boorilannoituksen vaikutus ja toisena vuonna taimien booripitoisuus oli pH 5,0:ssa ilman boorilannoitusta korkeampi kuin pH 6,5:ssa boorilannoituksen kanssa (kuva 15). Edellisellä vuonna annettu boorilannoitus vastaa viittä kiloa booria hehtaarilla 25 cm:n kerroksessa. Maan kuumavesiliukoinen boori ei ennakoanut kalkituksen vaikutusta rypsin taimien booripitoisuuteen, kun luku (mg/l) oli ilman kalkitusta ja boorilannoitusta 0,33, kalkittuna ilman lannoitusta 0,25, ilman kalkitusta lannoitettuna 1,47 sekä kalkittuna ja lannoitettuna 1,23.

Ensimmäisenä vuonna kalkituksen vaikutus rypsin booripitoisuuteen ei riippunut hietamoreenilla kalkin määrästä, mutta toisena vuonna booripitoisuus näyttää laskeneen lineaarisesti pH:n noustessa (kuva 15). Hietamoreenilla kalkitus näyttää alentaneen myös rypsin varsien booripitoisuutta voimakkaasti.

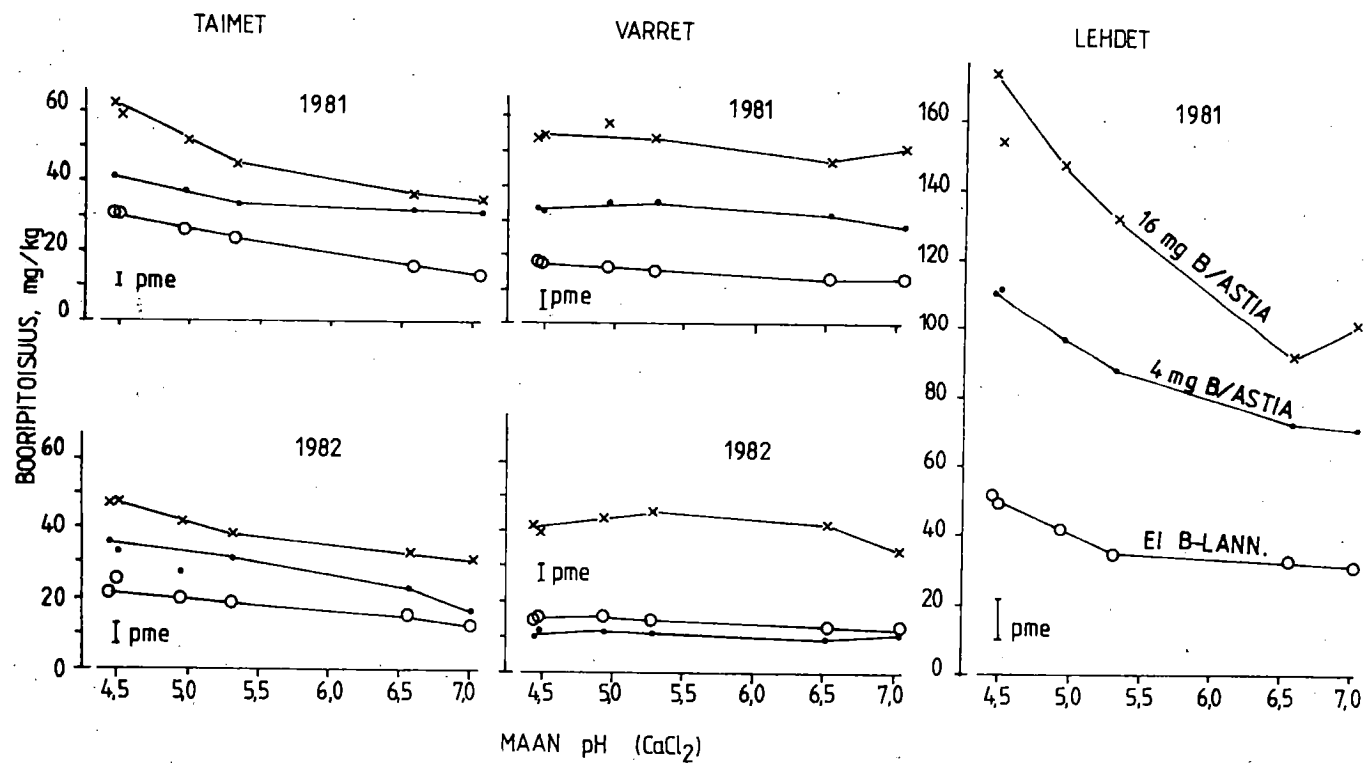
Kun boorin saanti näytti riippuvan maan pH:sta eri maaerillä hyvin eri tavalla, perustettiin uusi koe viidellä uudella maaerällä. Rypsin taimien booripitoisuus laski pH:n noustessa melko jyrkästi mutta jokseenkin yhtä voimakkaasti kaikilla mailla (kuva 16). Savimailla näyttää kuitenkin sekä kalkin aikaansaama pH:n nousu että samansuuruisen pH:n nousun aiheuttama booripitoisuuden lasku olevan pienempi kuin karkeilla mailla. Varsien booripitoisuuteen kalkitus vaikutti heikommin ja epäsäännöllisemmin kuin taimien booripitoisuuteen (kuva 16). Kalkituksen saraturpeella aiheuttama rypsin varsien booripitoisuuden nousu johtui todennäköisesti muiden ravinteiden häiriön aiheuttamasta huonosta kasvusta.

Jokioisten happamalla hietasavella kalkitus alensi rypsin taimien ja lehtien booripitoisuutta voimakkaasti, mutta varsien booripitoisuutta heikosti ja epäsäännöllisemmin (kuva 17). Taimien booripitoisuus pieneni lineaarisesti pH:n nousun suhteen, mutta lehtien booripitoisuudessa muutos oli jyrkempi happamassa päässä. Kalsiumsulfaatti, joka ei vaikuta maan pH-lukuun, ei pienentänyt booripitoisuutta (kuvassa 17 pH 4,5:n kohdalla olevat tulokset), ja pH:n nostaminen Mg-K-Na-yhdisteillä pienensi booripitoisuutta yhtä paljon (pH 4,9 kuvassa 17) kuin saman pH-muutoksen aiheuttava CaCO₃-kalkitus. Jälkimmäinen vaikutti pH-lukuun jonkin verran enemmän kuin edelliset ekvivalentilla määrällä.

Edelliset kokeet osoittivat, että kalkitus vaikuttaa voimakkaasti rypsin boorinsaantiin. Saraturpeella pH:n nousu pienensi booripitoisuutta kuitenkin aika



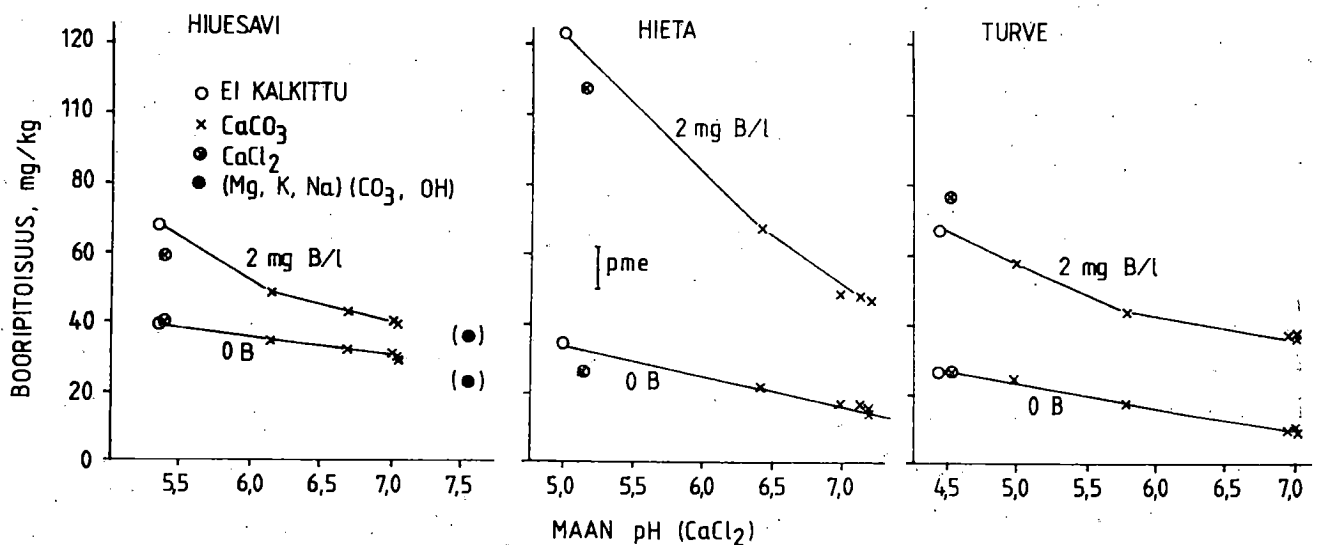
Kuva 16. Kalkituksen vaikutus rypsin taimien ja varsien booripitoisuuteen kuudella maalla.



Kuva 17. Boorilannoituksen ja kalkituksen vaikutus rypsin booripitoisuuteen happamalla hietasavella.

heikosti, vaikka eräissä aikaisemmissa tutkimuksissa kalkitus on selvästi häntannut boorin ottoa turpeesta (PRASAD ja BYRNE 1975, PUUSTJARVI 1980). Kun kalkkimäärien suhteelliset vaikutukset olivat olleet työn aikaisemmissa kokeissa jonkin verran vaihtelevia, selvitettiin kalkkimäärien ja pH:n vaikutuksia tarkemmin kolmella maalla kasvattamalla rypsiä pienissä astioissa.

Nuppuasteella leikattujen rypsin versojen booripitoisuus pieneni kaikilla mailla pH:n noustessa, ilman boorilannoitusta lineaarisesti ja runsaan boorilannoituksen jälkeen melkein lineaarisesti (kuva 18). Neutraali kalsium ei vaikuttanut booripitoisuuteen merkittävästi. Käytetty Mg-K-Na-kalkitus oli myrkyllinen, rypsi kasvoi savellakin huonosti, muilla mailla ei lainkaan. Kalkkiannoksen lisäys yli neutralointiin kuuluvan määrän ei vaikuttanut lainkaan rypsin boorinottoon. Savella booripitoisuus pieneni pH:n noustessa vähemmän kuin muilla mailla. Boorilannoituksen yhteydessä pH:n vaikutus oli turpeellakin paljon pienempi kuin hiedalla.



Kuva 18. Kalkituksen vaikutus nuppuasteella olevien rypsin versojen booripitoisuuteen.

Kokeet osoittivat, että kalkituksen vaikutus rypsin boorinottoon liittyy maan pH:n muutokseen. Kasvin booripitoisuuden ja pH:n suhde osoittautui varsin säännölliseksi, vaikka pH:sta riippuvien ravinteiden ottoon on todettu vaikuttavan

nimenomaan ritsofäärin pH:n, joka saattaa poiketa paljonkin koko maan pH:sta (SARKAR ja WYN JONES 1982). Boorin otto näyttää hidastuvan yleensä lineaarisesti pH:n noustessa. Happaman hietamoreenin poikkeavan käyttäytymisen voidaan olettaa johtuvan vaihtuvan alumiinin saostumisesta kalkittaessa, mutta tämän mielenkiintoisen tuloksen selittäminen vaatisi jatkotutkimuksia.

Kokeissa ei huomattu mitään erityisen kriittistä pH-tasoa, jossa boorin saanti huononisi erityisen voimakkaasti. PETERSON ja NEWMAN (1976) havaitsivat, että kalkitus hidastaa boorinottoa vasta pH:n ylittäessä 6,3, mutta heidän kokeessaan kalkitukset pH-tasolle 5,3-6,3 oli suoritettu kuusi vuotta aikaisemmin ja vain yksi koejäsen (pH 7,4) kalkittiin koetta perustettaessa. Näyttää siltä, että kasvien boorinsaanti voidaan hyvin turvata kaikilla mahdollisilla maan pH-tasoilla. Muutama kilo booria hehtaarille riittää kompensoimaan tavallista runsaammankin kalkituksen negatiivisen vaikutuksen.

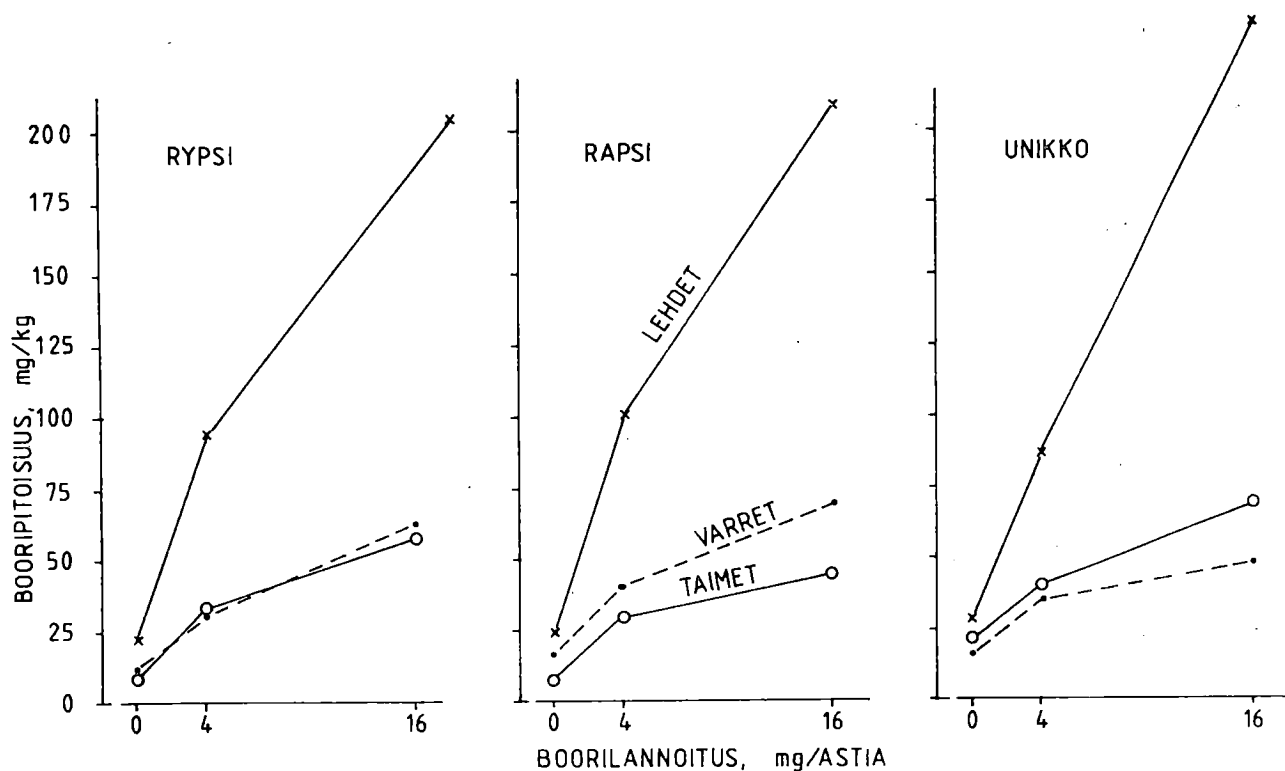
3. Boorilannoituksen vaikutus kasvien booripitoisuuteen

Maahan lisätyn boorin vaikutusta rypsin eri osien booripitoisuuteen astiakokeissa esittävät kalkituksen vaikutusta käsiteltäessä jo tarkastellut kuvat 14-18. Rypsin taimien, varsien ja lehtien booripitoisuus nousee booria lisättäessä herkästi, mutta siementen booripitoisuus ei muutu läheskään yhtä paljon (kuva 14). Kuvista 15, 16 ja 18 voidaan todeta, että samansuuruinen boorilannoitus vaikuttaa savimaalla vähemmän kuin muilla maalajeilla. Kalkitus näyttää vähentävän maahan lisätyn boorin aiheuttamaa kasvin booripitoisuuden nousua eniten karkeilla kivennäismailla. Happamalla hiedalla boorilannoitus vaikutti rypsin taimien booripitoisuuteen jopa kymmenen kertaa tehokkaammin kuin neutraalilla savella (kuva 18).

Boorilannoituksen ja kalkituksen yhdysvaikutus rypsin taimien booripitoisuuteen hietasavella oli mielenkiintoinen (kuva 17), kun kalkitus alensi booripitoisuutta runsaan boorilannoituksen kanssa saman verran kuin ilman boorilannoitusta, mutta paljon vähemmän niukan lannoituksen kanssa. Tulos ei liene mahdollinen pelkästään fysikaalis-kemiallisena ilmiönä, vaan osoittanee kasvin aktiivista pyrkimystä booripitoisuustasolle 30 mg B/kg. Niukka lannoitus suurensi hietasavella rypsin taimien booripitoisuutta toisena vuonna suunnilleen yhtä paljon kuin ensimmäisenä vuonna, mutta varsien booripitoisuutta toisena vuonna hyvin vähän (kuva 17).

Kasvit eivät ilmeisesti kykene rajoittamaan boorin kulkeutumista solukkoihinsa haihtumisvirtauksen mukana. Booripitoisuus saattaa nousta paikallisesti satakin

kertaa suuremmaksi kuin olisi tarpeen (OERTLI ja KOHL 1961). Boorinoton huonoa hallintaa osoittavat myös rypsin lehtien booripitoisuus kuvassa 17 ja taimien booripitoisuus kuvassa 18. Boorilannoituksen lisääntyessä saraturpeella nousi jyrkimmin lehtien booripitoisuus sekä rypsilä, rapsilla että unikolla (kuva 19). Nämä kolme kasvilajia reagoivat kasvavaan boorin tarjontaan kasvien booripitoisuuden perusteella hyvin samalla tavalla.



Kuva 19. Boorilannoituksen vaikutus öljykasvien booripitoisuuteen niukasti booria sisältävällä saraturpeella.

Koska kerranteiden välinen vaihtelu kasvin booripitoisuudessa todettiin pienimmäksi taimiasteella, selvitettiin mahdollisia lajikkeidenvälisiä eroja harvennetaessa poistettujen taimien boorianalyysillä. Geneettisiin eroihin booritaloudessa olivat viitanneet mm. eriasteiset puutosoireet saman koeastian eri yksilöissä. Lajikkeiden vertailukokeessa (taulukko 20) boorilannoitus nosti booripitoisuutta kaikilla kasveilla tilastollisesti merkitsevästi. Öljykasvit poikkesivat muista kasveista selvästi, mutta rypsi- ja rapsilajikkeet olivat hyvin samankaltaisia taimien booripitoisuuden suhteen. Boorin saatavuuden ja lajikkeen suhteellista vaikutusta booripitoisuuteen osoittavat kaikkien öljykasvilajikkeiden toisen vuoden varianssianalyysin F-arvot: boorilannoitus 1911^{xxx}, lajike 3,04^x ja yhdysvaikutus 5,79^{xx}.

Taulukko 20. Öljykasvi- ja muiden lajikkeiden taimien booripitoisuus. Boorilannoitus ohralle 2 mg ja muille 4 mg B/astia. (Erojen merkitsevyydet testattu kussakin sarakkeessa erikseen).

| Lajike | Booripitoisuus, mg/kg | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Ilman B-lannoitusta | | Boorilannoitus | |
| | 1982 | 1983 | 1982 | 1983 |
| | Kalkittu turve (0,21 mg B/l) | | | |
| Pomo-ohra | 4 | | 7 | |
| Ante-rypsi | - | | 25 | |
| | Saraturve (0,85 mg B/l) | | | |
| Pomo-ohra | 7 | | 9 | |
| Salohill-sokerijuurikas | | | | |
| juuret | 32 | | 36 | |
| lehdet | 22 | | 53 | |
| Heikka-herne | 27 | | 31 | |
| Topas-rapsi | 22 ^a | 10 ^a | 38 ^a | 34 ^c |
| Lergo-rapsi | 21 ^a | 11 ^{ab} | 37 ^a | 30 ^{ab} |
| Ante-rypsi | 28 ^b | 13 ^b | 36 ^a | 33 ^{bc} |
| Emma-rypsi | 28 ^b | 11 ^{ab} | 37 ^a | 30 ^{ab} |
| Span-rypsi | 27 ^b | 13 ^b | 38 ^a | 32 ^{bc} |
| Vankka-rypsi | 28 ^b | 13 ^b | 36 ^a | 29 ^a |

Kenttäkokeissa lehtien booripitoisuus vaihteli samalla käsittelyllä vuosittain (taulukko 21). Suhteellinenkin vaihtelu oli suurin korkeimmissa pitoisuuksissa, mikä osoittaa yli kasvin tarpeen otetun boorin olevan herkkä ulkoisille olosuhteille. Booripitoisuutta näyttää kohottavan runsas haihdunta ja hidas kasvu. Erityisesti noin viikon aikana ennen näytteenottoa esiintyneet sateet näyttävät alentaneen lehtien booripitoisuutta, mahdollisesti huuhtomalla booria pois lehdistä.

Booripitoista Y-lannosta (0,2 % B 600-700 kg/ha = 1,2-1,4 kg B/ha) käytettäessä kukkivan rypsin lehtien booripitoisuus nousi tavallisesti suunnilleen kaksinkertaiseksi verrattuna "boorittoman" Y-lannoksen aiheuttamaan booripitoisuuteen, suurimmillaan jopa nelinkertaiseksi. Yhdessä tapauksessa ero oli tilastollisesti

merkityksetön ja vain 30 prosenttia. Normaali Y-lannos, jonka boorimäärä on neljännes booripitoisen Y-lannoksen boorista, näyttää suurentaneen lehtien booripitoisuutta neljä kertaa vähemmän kuin booripitoinen Y-lannos.

Taulukko 21. Rypsin lehtien booripitoisuus boorilannoitus-kalkituskokeissa, mg/kg.

| Kalkitus 1981 t/ha | B-lannoitus B/ha | Jokioinen | | | Mietoinen | | | Kokemäki | | |
|--------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| | | 1981 27.6. | 1982 28.6/ 13.7. | 1983 22.6. | 1981 30.6. | 1982 15.7. | 1983 4.7. | 1981 8.7. | 1982 18.7. | 1983 6.7. |
| - | alle 0,1 kg/v | 30 ^a | 49/38 ^a | 30 ^a | 42 ^{ab} | 58 ^a | 28 ^a | 31 ^a | 40 ^a | 33 ^a |
| - | 0,3-0,35 " | 33 ^a | 61/53 ^c | 34 ^b | 49 ^{bc} | 58 ^a | 31 ^a | 35 ^a | 64 ^b | 44 ^b |
| - | 1,2-1,4 " | 61 ^b | 117/130 ^d | 54 ^c | 64 ^d | 95 ^b | 39 ^a | 63 ^b | 155 ^c | 88 ^d |
| - | 4,8-5,6 kg -81 ^x | 76 ^c | 47/41 ^{ab} | 30 ^a | 92 ^e | 95 ^b | 81 ^b | 93 ^{cd} | 51 ^a | 32 ^a |
| 7-10 | alle 0,1 kg/v | 31 ^a | 47/36 ^a | 30 ^a | 36 ^a | 51 ^a | 28 ^a | 29 ^a | 40 ^a | 30 ^a |
| " | 0,3-0,35 " | 34 ^a | 57/50 ^{bc} | 35 ^b | 42 ^{ab} | 52 ^a | 29 ^a | 37 ^a | 70 ^b | 42 ^b |
| " | 1,2-1,4 " | 65 ^b | 101/123 ^d | 52 ^c | 53 ^c | 84 ^b | 37 ^a | 76 ^{bc} | 156 ^c | 78 ^c |
| " | 4,8-5,6 kg -81 ^x | 71 ^{bc} | 46/39 ^a | 28 ^a | 57 ^{cd} | 73 ^{ab} | 72 ^b | 97 ^d | 52 ^a | 32 ^a |

Kalkitus alensi lehtien booripitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi booripitoista Y-lannosta käytettäessä Mietoisissa ensimmäisenä ja Kokemäellä kolmantena vuonna sekä hajalannoituksen kanssa Mietoisissa ensimmäisenä vuonna (taulukko 21). Hajalevityksenä annettu boori suurensi lannoitusvuonna lehtien booripitoisuutta hiukan enemmän kuin neljä kertaa niin suuri boorimäärä sijoitettuna. Varastolannoituksen jälkivaikutus oli suuresta boorimäärästä huolimatta niin mitätön, ettei sitä saatu kasvianalyysillä osoitetuksi tilastollisesti merkitsevästi. Siementen booripitoisuutta boorilannoitus suurensi alle kymmenen prosenttia.

Jokioisten aitosavella kasvuston epätasaisuus häytti mittauksia, mutta boorin sijoittamisen merkitys voitiin kuitenkin osoittaa. Maan pinnalle ennen kylvölannoitusta ruiskutettu boori ei suurentanut kasvin booripitoisuutta määritysten mukaan ensimmäisenä eikä toisena vuonna (taulukko 22). Kasvustoon ruiskutettu solubooriliuos nosti lehtien booripitoisuutta erittäin tehokkaasti.

Boorin jakaantuminen vähäboorisella saraturpeella kasvaneen rypsin varsiin ja lehtiin riippui astiakokeessa boorilannoitustavasta (taulukko 23). Maahan se-

koitettu boori nosti rypsin varsien ja litujen keskimääräistä booripitoisuutta paljon tehokkaammin kuin lehdille ruiskutettu boori. Vähiten näyttää varsiin siirtyneen kasviin ylhäältä ruiskutettu, pääosin ylälehdille jäänyt boori. Taimille ja alalehdille ruiskutetusta boorista osa lienee siirtynyt varsiin maan ja juurten kautta.

Taulukko 22. Boorimäärän ja -lannoitustavan vaikutus rypsin booripitoisuuteen Jokioisten aitosavella (mg/kg).

| Boorimäärä, kg/ha | Sijoitus | Pintaan | Kasvustoon |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Taimet 24.6.1980 | | | |
| 0,07 | 18 ^a | - | - |
| 0,35 | 19 ^a | - | 29 ^{cd} |
| 0,7 | 22 ^{abc} | - | 32 ^d |
| 1,4 | 21 ^{ab} | 18 ^a | - |
| 2,8 | 27 ^{bcd} | 18 ^a | - |
| Lehdet 14.7.1981 | | | |
| 0,07 | 44 ^a | - | - |
| 0,35 | 50 ^b | - | 152 ^e |
| 0,7 | 50 ^b | - | 248 ^f |
| 1,4 | 61 ^c | (43 ^a) | - |
| 2,8 | 99 ^d | (41 ^a) | - |

() sulkeilla merkityillä B-lannoitus vain 1981

Taulukko 23. Maahan sekoitetun ja kasveille ruiskutetun boorin vaikutus rypsin booripitoisuuteen.

| Boorilannoitus mg/astia | tapa | Booripitoisuus, mg/kg | | | |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | Taimet | Varret | Lehdet | Varret/Lehdet, % |
| 0 | - | 9 ^a | 13 ^a | 22 ^a | 56 |
| 1 | maahan | 25 ^b | 16 ^{ab} | 46 ^b | 34 |
| 4 | " | 34 ^c | 32 ^d | 95 ^d | 34 |
| 16 | " | 59 ^d | 63 ^e | 216 ^f | 29 |
| 1 | taimille | 9 ^a | 13 ^a | 64 ^c | 20 |
| 4 | " | 10 ^a | 21 ^{bc} | 141 ^e | 15 |
| 1 | alalehdille ^x | 9 ^a | 14 ^a | 67 ^c | 20 |
| 4 | " | 9 ^a | 23 ^c | 188 ^f | 12 |
| 1 | ylälehdille ^x | 8 ^a | 13 ^a | 50 ^{bc} | 26 |
| 4 | " | 8 ^a | 16 ^{ab} | 118 ^{de} | 13 |

x kukinnan aikana

V BOORIN VAIKUTUKSET ÖLJYKASVEIHIN

1. Boorin vaikutus muiden ravinteiden ottoon

Työn johdannossa tarkasteltaessa boorin tehtäviä kasveissa todettiin, että uusimpien tutkimusten mukaan boori näyttää olevan tarpeellinen solun kalvojen toiminnassa ja edistävän siten aktiivista ravinteiden ottoa. Boorin saanti ei kuitenkaan pitempiäaikaisten kasvatusten mukaan näytä vaikuttavan kovin voimakkaasti muiden ravinteiden ottoon (PINERO 1977a, MILLER ja SMITH 1977, TOUCHTON ym. 1980). Boori on kuitenkin suurentanut eräiden kasvien typpi- ja fosforipitoisuutta ja pienentänyt kalsiumpitoisuutta sekä herneellä pienentänyt lehtien rauta-, mangaani- ja sinkkipitoisuutta (SALINAS ym. 1982). Myrkyllisen suuret boorimäärät alentavat kasvin kalsiumpitoisuutta huomattavasti, ja mitä enemmän kasvi saa kalsiumia, sitä enemmän se sietää booria (JONES ja SCARSETH 1944).

Kukkivien rypsin versojen ravinneanalyysien mukaan boori ei vaikuttanut astiakokeessa muiden ravinteiden ottoon (taulukko 24). Rypsin ja rapsin taimien analyysienkaan mukaan fosforin, kalsiumin, magnesiumin tai kaliumin oton häiriintyminen ei näytä olevan primäärinen boorinpuutosoireiden syy (taulukko 25). Boorin aiheuttama fosfori- ja magnesiumipitoisuuden pieneneminen lienee parantuneesta kasvusta seurannutta laimenemistä.

(Kalkituksen vaikutus muiden ravinteiden kuin boorin ottoon on tämän työn aihepiirin ulkopuolella, mutta taulukon 24 luvut osoittavat, ettei boori ole ainoa ravinne, jonka saantia kalkitus haittaa. Kasvin fosforipitoisuus muuttui kalkittaessa hietasavella hyvin samalla tavalla, mutta hietamoreenilla vastakkaiseen suuntaan kuin booripitoisuus. Hietamoreenilla kalkitus alensi magnesiumipitoisuutta jopa jyrkemmin kuin booripitoisuutta, mikä on todennäköinen sadonalennuksen selitys. Yhteinen tekijä ja samanlainen tulos ei kuitenkaan osoita vaikutusmekanismien samankaltaisuutta.)

Kenttäkokeissa boorilannoitus vaikutti rypsin lehtien muiden ravinteiden pitoisuuteen vaihtelevalla voimakkuudella (taulukko 26). Boorilannoituksen vaikutus kalsiumpitoisuuteen oli varianssianalyysin F-arvon mukaan merkitsevä vuonna 1983 Jokioisissa ($F = 6,6^{XX}$) ja Kokemäellä ($F = 4,5^X$). Jälkimmäisessä paikassa myös fosforipitoisuus riippui boorilannoituksesta ($F = 5,5^{XX}$). Koejäsenten tuloksista nähdään (taulukko 26), että muista poikkeava vaikutus on ollut booripitoisella Y-lannoksella, jonka boori (1,2-1,4 kg/ha) on alentanut lehtien kalsiumpitoisuutta, mutta nostanut samalla lehtien fosforipitoisuutta. Boori-

Taulukko 24. Boorilannoituksen ja kalkituksen vaikutus kukkivien rypsin verso-
jen kuiva-ainesatoihin ja ravinnepitoisuuksiin.

| B-lann. | CaCO ₃ | Sato | B | P | Ca | Mg | K | N |
|-------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| mg/astia | g/astia | g/astia | mg/kg | g/kg | g/kg | g/kg | g/kg | g/kg |
| 1. sato hiuesavella | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 34 ^a | 36 ^b | 4,5 ^{cd} | 18 ^a | 2,8 ^b | 61 ^{ab} | 39 ^a |
| 0 | 12 | 36 ^a | 29 ^a | 4,0 ^b | 23 ^b | 2,4 ^a | 56 ^a | 37 ^a |
| 0 | 24 | 34 ^a | 25 ^a | 3,5 ^a | 24 ^b | 2,3 ^a | 57 ^{ab} | 39 ^a |
| 10 | 0 | 33 ^a | 53 ^d | 4,6 ^d | 19 ^a | 2,8 ^b | 63 ^b | 41 ^a |
| 10 | 12 | 35 ^a | 42 ^c | 4,1 ^{bc} | 23 ^b | 2,5 ^a | 60 ^{ab} | 37 ^a |
| 10 | 24 | 34 ^a | 40 ^{bc} | 3,8 ^{ab} | 24 ^b | 2,4 ^a | 57 ^a | 39 ^a |
| 2. sato hiuesavella | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 23 ^a | 27 ^c | 4,6 ^{ab} | 20 ^{ab} | 3,0 ^b | 75 ^a | 42 ^a |
| 0 | 12 | 17 ^a | 24 ^b | 4,7 ^b | 26 ^b | 3,0 ^b | 69 ^a | 38 ^a |
| 0 | 24 | 21 ^a | 20 ^a | 4,4 ^{ab} | 25 ^{ab} | 2,3 ^{ab} | 73 ^a | 42 ^a |
| 10 | 0 | 27 ^a | 48 ^f | 4,4 ^{ab} | 16 ^a | 2,9 ^{ab} | 72 ^a | 42 ^a |
| 10 | 12 | 25 ^a | 42 ^e | 4,4 ^{ab} | 23 ^{ab} | 2,5 ^{ab} | 74 ^a | 41 ^a |
| 10 | 24 | 27 ^a | 37 ^d | 4,1 ^a | 21 ^{ab} | 2,2 ^a | 68 ^a | 40 ^a |
| 1. sato hietamoreenilla | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 16 ^{ab} | 24 ^b | 2,4 ^{ab} | 17 ^a | 4,1 ^c | 47 ^{ab} | 44 ^a |
| 0 | 12 | 22 ^b | 18 ^a | 3,0 ^b | 27 ^b | 2,4 ^b | 49 ^b | 41 ^a |
| 0 | 24 | 15 ^a | 16 ^a | 3,4 ^b | 32 ^c | 2,0 ^a | 52 ^b | 43 ^a |
| 10 | 0 | 13 ^a | 68 ^d | 1,7 ^a | 14 ^a | 4,0 ^c | 33 ^a | 40 ^a |
| 10 | 12 | 18 ^b | 46 ^c | 2,6 ^{ab} | 25 ^b | 2,2 ^{ab} | 41 ^{ab} | 41 ^a |
| 10 | 24 | 18 ^b | 42 ^c | 2,5 ^{ab} | 29 ^{bc} | 1,9 ^a | 40 ^{ab} | 39 ^a |
| 2. sato hietamoreenilla | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 6 ^a | 20 ^{ab} | 1,5 ^a | 13 ^a | 4,2 ^b | 49 ^a | 34 ^a |
| 0 | 12 | 11 ^{ab} | 11 ^a | 2,4 ^b | 25 ^b | 2,2 ^a | 47 ^a | 35 ^a |
| 0 | 24 | 8 ^a | 12 ^a | 2,2 ^b | 28 ^b | 1,8 ^a | 51 ^a | 34 ^a |
| 10 | 0 | 6 ^a | 71 ^c | 1,9 ^{ab} | 18 ^a | 5,5 ^c | 54 ^a | 36 ^a |
| 10 | 12 | 14 ^b | 28 ^b | 2,3 ^b | 23 ^b | 2,2 ^a | 49 ^a | 32 ^a |
| 10 | 24 | 9 ^{ab} | 24 ^b | 2,5 ^b | 28 ^b | 1,8 ^a | 48 ^a | 36 ^a |

lannoituksen vaikutus ravinnepitoisuuksiin ei riippunut kalkituksesta, mutta pienentyneetkin kalsiumpitoisuudet ovat suurempia kalkitulla kuin kalkitsemattomalla maalla.

Taulukko 25. Boorilannoituksen (mg/astia) vaikutus kuuden rypsi- ja rapsilajikkeen taimien ravinnepitoisuuksien keskiarvoihin sekä varianssianalyysien F-arvot ja riskitasot.

| Boorilannoitus | Boori mg/kg | Fosfori g/kg | Kalsium g/kg | Magnesium g/kg | Kalium g/kg |
|----------------|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 0 | 12 | 6,8 | 24 | 5,4 | 59 |
| 4 | 31 | 6,4 | 23 | 5,1 | 56 |
| F-arvo | 1911 ^{xxx} | 6,6 ^x | 3,8 | 4,6 ^x | 2,5 |
| Riski-% | 0,01 | 1,7 | 6,5 | 4,2 | 12,8 |

Vuonna 1983 neljättä vuotta Jokioisten multamaalla jatkuneiden fosfori- ja kaliumlannoituskokeiden ruutujen toiselle puoliskolle ruiskutettiin maahan ja mulattiin kylvämuokkauksessa solubooria 10 kg/ha. Koekasvina viljellyn Emma-rypsin lehtianalyseilla ei voitu todeta näiden ravinteiden välistä riippuvuutta. Boorilannoitus ei vaikuttanut rypsin taimien kalsiumpitoisuuteen vuoden 1982 astiakokeissa yhdelläkään tutkitusta seitsemästä maasta.

2. Boorin vaikutus kasvuun ja ulkonäköön

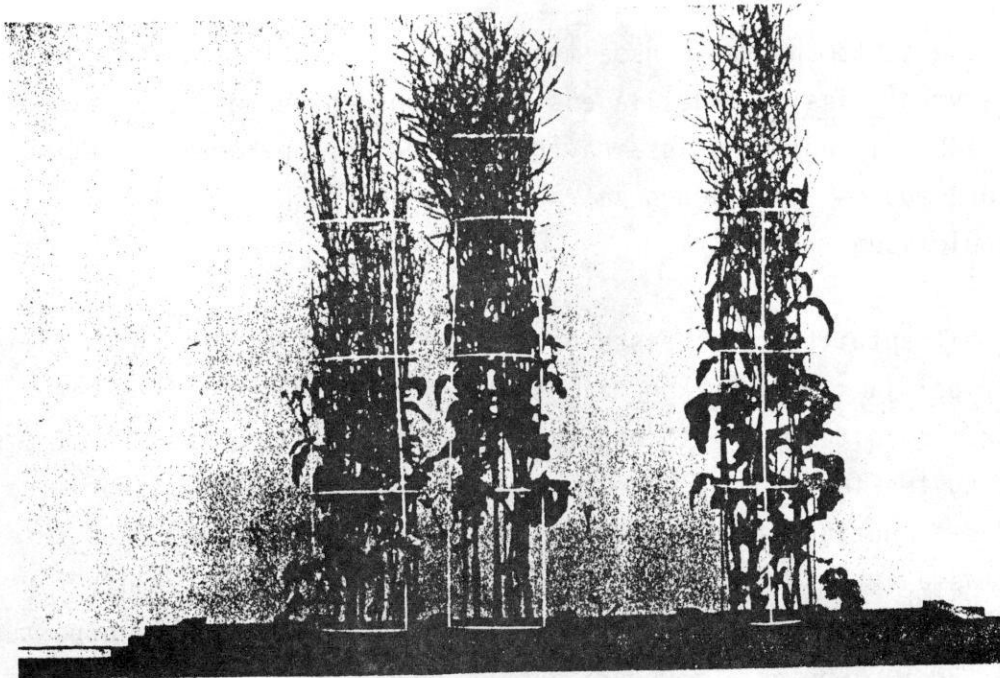
Brassica-suvun kasvien siementen boori ei CHANDLERin (1941) kokeiden mukaan riittä kunnolla edes sirkkalehtien kasvattamiseen. Vähäboorisella kalkitulla turpeella rypsin taimien kasvu pysähtyi myös ennen kuin sirkkalehdet olivat saavuttaneet normaalin kokonsa (värikuvaliite, kuvat A-B). Kun turvetta ei kalkittu, rypsin varret ja lehdet kasvoivat melkein normaalin kokoisiksi, mutta yhtään siementä ei muodostunut. Kalkitus vähensi turpeella boorilannoituksen yhteydessäkin haaroittumista, mikä johtui todennäköisesti jonkin muun ravinteen kuin boorin saannin vaikeutumisesta (kuva 20).

Ankarassa boorin puutteessa rypsin juuristo kehittyi vielä heikommin kuin lehdet ja varsi. Vähäboorisella kalkitulla turpeella sirkkataimen pääjuuri ei kasvanut juuri lainkaan, vaan kuoli pian itämisen jälkeen. Sivujuuret olivat

Taulukko 26. Rypsin lehtien ravinnepitoisuus boorilannoitus-kalkituskokeissa, g/kg.

| Kalkitus 1981 | B-lannoitus B/ha | 1982 | 1983 | | | |
|------------------|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | Ca | Ca | Mg | K | P |
| Jokioinen | | | | | | |
| - | 0,1 kg/v | 23 ^a | 26 ^{ab} | 3,9 ^a | 44 ^a | 5,6 ^a |
| - | 0,35 " | 21 ^a | 26 ^{ab} | 3,8 ^a | 43 ^a | 5,6 ^a |
| - | 1,4 " | 22 ^a | 24 ^a | 3,5 ^a | 42 ^a | 5,8 ^a |
| - | 5,6 kg -81 | 22 ^a | 28 ^{ab} | 3,8 ^a | 43 ^a | 5,6 ^a |
| 10 t/ha | 0,1 kg/v | 23 ^a | 29 ^b | 3,8 ^a | 40 ^a | 5,6 ^a |
| " | 0,35 " | 23 ^a | 28 ^{ab} | 3,7 ^a | 40 ^a | 5,2 ^a |
| " | 1,4 " | 22 ^a | 27 ^{ab} | 3,7 ^a | 43 ^a | 5,6 ^a |
| " | 5,6 kg -81 | 23 ^a | 29 ^b | 3,9 ^a | 42 ^a | 5,2 ^a |
| Mietoinen | | | | | | |
| - | 0,1 kg/v | 17 ^a | 18 ^a | 2,6 ^a | 39 ^a | 6,3 ^a |
| - | 0,31 " | 17 ^a | 20 ^{ab} | 2,8 ^a | 44 ^a | 6,7 ^a |
| - | 1,25 " | 17 ^a | 20 ^{ab} | 2,8 ^a | 41 ^a | 6,6 ^a |
| - | 5,0 " | 16 ^a | 19 ^{ab} | 2,3 ^a | 37 ^a | 6,7 ^a |
| 8 t/ha | 0,1 kg/v | 19 ^a | 22 ^{ab} | 2,6 ^a | 37 ^a | 6,3 ^a |
| " | 0,31 " | 19 ^a | 23 ^b | 2,8 ^a | 39 ^a | 6,2 ^a |
| " | 1,25 " | 20 ^a | 23 ^b | 2,7 ^a | 39 ^a | 6,2 ^a |
| " | 5,0 " | 18 ^a | 23 ^b | 2,2 ^a | 36 ^a | 6,6 ^a |
| Kokemäki | | | | | | |
| - | 0,1 kg/v | 27 ^e | 26 ^b | 4,1 ^{ab} | 57 ^a | 8,7 ^{ab} |
| - | 0,3 " | 25 ^a | 24 ^{ab} | 3,8 ^{ab} | 54 ^a | 8,7 ^{ab} |
| - | 1,2 " | 26 ^a | 21 ^a | 3,6 ^a | 54 ^a | 9,6 ^b |
| - | 4,8 kg -81 | 27 ^a | 25 ^{ab} | 4,1 ^{ab} | 56 ^a | 8,5 ^{ab} |
| 7 t/ha | 0,1 kg/v | 28 ^a | 29 ^b | 4,7 ^b | 54 ^a | 8,3 ^a |
| " | 0,3 " | 28 ^a | 27 ^b | 4,5 ^{ab} | 55 ^a | 9,0 ^{ab} |
| " | 1,2 " | 26 ^a | 23 ^a | 3,7 ^a | 58 ^a | 9,3 ^{ab} |
| " | 4,8 kg -81 | 28 ^a | 26 ^b | 3,9 ^{ab} | 53 ^a | 8,7 ^{ab} |

lyhyitä ja paksuja (värikuvaliite, kuva C).



| | | | | |
|-------------|----|----|----|----|
| Kalkitus | ei | ei | on | on |
| B-lannoitus | ei | on | ei | on |

Kuva 20. Boorilannoituksen ja kalkituksen vaikutus rypsiin niukasti booria sisältävällä turpeella.

Vähäboorisella hiedalla rypsi kasvoi kalkituissa astioissa ilman boorilannoitusta sirkkalehtiasteella vain hiukan paremmin kuin turpeella kuvissa B ja C, mutta värikuvaliitteen kuvassa D jo alkanut sivujuurien kehittyminen selittää taimien toipumisen. Normaalista paalujuurta vioittuneisiin yksilöihin ei tietenkään muodostunut, vaan juuristo haaroittui samaan tapaan kuin heinäkasveilla normaalisti.

Hyvin vähäboorisella aitosavella, joka otettiin Jokioisten boorimäärä ja -lannoitustapa -kokeesta puolen metrin syvyydestä, rypsin taimet kasvoivat kalkittaessa hiukan ohi sirkkataimivaiheen, minkä jälkeen kasvu pysähtyi ja taimet alkoivat kuolla.

Happamalla Jokioisten hietasavella, jolla runsas kalkitus aiheutti boorin puutteen jo ensimmäisenä vuonna, oli toisena vuonna näkyviä puutosoireita taimivaiheesta alkaen. Kyseisen vuoden (1982) kesäkuun kylmä sää näytti voimistavan boorin puutteesta johtuvia lehtien värinmuutoksia. Edellisenä vuonna rypsin lehdet olivat taimivaiheessa normaalin vihreitä varren kasvua häiritsevistä boorinpuutoksesta huolimatta (värikuvaliite, kuva E). Myös rypsin on todettu boorin puutteessa "jäävän istumaan" (BERGMANN ja NEUBERT 1976, s. 302),

kuten Saksassa tällaista kasvun hidastumista kutsutaan.

Yhdenmukaisesti tämän työn kanssa myös CHANDLER (1941) havaitsi boorin puutoksen näkyvän Brassica-lajeilla ensin juurten kehityksessä. Sirkkataimien letaalissa boorinpuutostaudissa näyttää juuren kasvupisteen kuoleminen olevan primäärinen muutos, joka veden ja ravinteiden saannin estämällä aiheuttaa myös verson kuoleamisen.

Unikko osoittautui taimivaiheessa boorin suhteen huomattavasti vaateliaammaksi kuin rypsi ja rapsi. Unikon taimet kasvoivat happamallaakin saraturpeella ilman boorilannoitusta erittäin hitaasti (värikuvaliite, kuva F). Taimet pysyivät kuitenkin vihreinä ja niiden kasvu elpyi. Myöhemmin suuri osa unikon lehdistä muuttui vaalean harmaiksi samalla tavalla kuin SHORROCKSin (1982) julkaisemassa kuvassa. Samassa kokeessa unikon rinnalla viljellyn rypsin taimien paino oli kymmenen senttimetrin korkuisina ilman boorilannoitusta vain noin 30 % pienempi kuin boorilannoituksen kanssa.

Boorinpuutoksen aiheuttamaa rypsin lehtien kellastumista esiintyi jo kuvissa A-C. Selvimmin nämä oireet näkyvät kuvassa G (värikuvaliite). Lievisissä tapauksissa kellastuvat vain ylimmät lehdet ja vasta kukinnan lopulla. Tällöin boorinpuutoksista ja lehtien normaalista vanhenemisestä johtuvaa kellastumista saattaa olla vaikea tunnistaa. Jos kellastuminen alkaa ylimmistä lehdistä alempien lehtien ollessa vihreitä, on syynä todennäköisesti boorin puutos. Käytännön viljelmillä heikot, epävarmat puutosoireet lienevät paljon yleisempiä kuin selvät puutostapaukset. Hyvin samanlaista värimuutosta kuin boorin puutos aiheuttaa myös mm. kylmyys, lähinnä taimilla. Suora auringonpaiste edistää värinmuutoksia boorin puutteessa.

Rypsilajikkeilla esiintyy joissakin harvoissa yksilöissä boorin puutteessa myös autosyaanin kertymistä osoittavaa punertumista. Rypsin lehdet eivät boorinpuutteessa juuri kellastu, vaan punertuvat, ja lehtien värinmuutokset eivät ole niin räikeitä kuin rypsilä (värikuvaliite, kuva H). Rypsin punertumisen boorin puutteessa ovat todenneet myös mm. BERGMANN ja NEUBERT (1976).

Boorinpuutosoireet eivät ilmene aina samalla tavalla astiakokeissakaan, vaikka niissä mm. maan kosteus on pitkälle yhdenmukaistettu. Maan booritestaus -kokeessa rypsi kasvoi rahkaturpeessa taimivaiheessa vuonna 1981 oireettomasti, mutta lopetti kasvunsa kukinnan alussa kokonaan. Ilmeisesti boorin saannin nopea väheneminen happaman turpeen boorivarojen ehtyessä oli tällaisen äkkipsäyksensä eräänä syynä, mutta myös säänvaihteluilla oli oma osuutensa. Seuraava-

na vuonna samassa astiassa ei tällaista kasvun äkkipysäystä todettu, vaan varret kasvoivat lähes normaalikorkuisiksi muodostamatta kuitenkaan yhtään siementä tai edes täysikokoista litua. Boorinpuutoksen vaikutus rypsin litujen kehittymiseen näkyy parhaiten värikuvaliitteen kuvassa I. Litujen kehittymättömyys boorin puutteessa on todettu myös mm. kevätrapsilla Australiassa (MYERS ym. 1983) ja syysrypsillä Suomessa aikaisemmin (TAINIO 1957).

Ankarassa boorin puutteessa myös varsien kasvun hidastuessa rypsin ja rapsin häaroittuminen ja kukinta jatkuu normaalia pitempään, jopa sadonkorjuuseen saakka (värikuvaliite, kuva J). Alalehdet pysyvät tällöin vihreinä normaalia kauemmin. Kun boorinpuutos saattaa pienentää siemensadon jopa alle puoleen normaalista ilman, että jälkikukintaa lainkaan esiintyy, ei tämä puutosoire näytä soveltuvan käytännössä boorin saannin riittävyyden toteamiseen. Unikolla jälkikukintaa ei havaittu lainkaan edes siementen muodostuksen estyessä boorin puutteessa sataprosenttisesti. Verrattain heikkoa vegetatiivista jälkikasvua boorin puutteessa osoittaa myös se, että rypsin ja rapsin varsisato ei kasvanut paljonkaan normaalia suuremmaksi niin kuin ohralla ja härkäpavulla (taulukko 29, s. 75)

Edellä esitettyjen havaintojen ja kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, että boorin puutos ilmenee kasveissa paikallisina kehityshäiriöinä ja epämuodostumina. Kasvit eivät näytä osaavan sopeuttaa kasvuaan boorin saannin mukaiseksi jäämällä pienikokoisiksi niin kuin typen tai fosforin saannin ollessa niukkaa. Boorin saanti ei ilmeisesti ole luonnossa sellainen kasvutekija, jonka niukkuuteen sopeutuminen olisi ekologisesti tärkeää.

Kirjallisuuden mukaan Brassica-lajit eivät ole herkkiä ylimääräiselle boorille (JAMALAINEN 1935b ja 1968, BERGMANN ja NEUBERT 1976, MULLER ja MCSWEENEY 1976, GUPTA 1979b), mutta negatiivistakin vaikutusta jopa tavanomaisilla boorilannoittemäärillä on todettu (JOHANSSON ja NILSSON 1973, LARPES 1980). Tässä työssä boori vioitti rypsiä verrattain pieninäkin määrinä.

Jokioisten boorimäärä ja -lannoitustapa -kokeessa soluboorin ei vuonna 1980 havaittu vioittavan rypsiä, kun ruiskutteen väkevyys oli suurin yleisesti suositeltu (mm. SHORROCKS 1982), 0,5 % solubooria eli noin 0,1 % booria. Kun Suomessa on kaupallisissa ohjeissa suositeltu kasvustojen ruiskuttamista jopa kaksiprosenttisella solubooriliuoksella (ANON. 1970), kokeiltiin vuonna 1981 yksiprosenttista liuosta.

Solubooriruiskutuksen vaikutusta rypsiin ei huomattu vielä seuraavana päivänä, mutta kahden vuorokauden kuluttua lehdissä näkyi pisaroiden kohdalla kei-

lastuvia täpliä, jotka erottuivat selvimmin 3-4 vuorokautta ruiskutuksen jälkeen. Myös lehtien kärjet ja reunat kellastuivat osoittaen boorin liikkuneen lehdistä. Vioitusta havaittiin myös ohjeiden mukaista 0,5-%:sta liuosta ruiskutettaessa, mutta lievempänä kuin kaksinkertaista väkevyyttä käytettäessä (värikuvaliite, kuva K).

Vuoden 1980 astiakokeissa huomattiin ylimääräisen boorin aiheuttavan rypsin varrien mutkaisuutta. Vuonna 1983 boorin varrenlujuutta huonontava vaikutus, josta mutkaisuus näyttää johtuvan, todettiin sekä astiakokeissa että kenttäkokeissa. Astiakokeessa booriylimäärä hidasti varren puutumista selvästi ja Mietoisissa kasvustoruiskutus aiheutti lakoontumista.

Kirjallisuudesta ei ole löytynyt mainintaa booriylimäärän vaikutuksesta varrenlujuuteen, mutta boorin oletetaan mahdollisesti osallistuvan ligniinin synteesiin (PILBEAM ja KIRKBY 1983). Tehtyjen havaintojen voidaan katsoa tukevan tätä olettamusta, sillä puutosoireet ja myrkytysoireet saattavat olla toistensa kaltaisia. Niinpä lantulla ylimääräisen boorin aiheuttamien muutosten on todettu muistuttavan boorin puutteesta johtuvaa ruskotautia (GUPTA 1979b).

Ylisuuren boorilannoituksen vaikutukset vuonna 1983 olivat osittain yllättäviä, sillä boori näytti hidastavan rypsin kasvua taimivaiheessa enemmän kuin ohran oraiden kasvua (värikuvaliite, kuva L), vaikka nimenomaan viljat tunnetaan herkiksi ylimääräiselle boorille (mm. BERGMANN ja NEUBERT 1976). Hidastunut kasvu näytti rypsin taimilla olevan ensimmäinen näkyvä merkki liiasta boorista. Lehtien värisävy muuttui taimivaiheessa kyllä likaisen kellanvihreäksi, mutta epäsäännöllisesti ja heikosti.

Myöhemmässä vaiheessa ylimääräinen boori näkyi rypsilä lehtien reunojen vaaleenemisena ja kuivumisena samalla tavalla kuin muillakin leveälehtisillä kasveilla (BERGMANN ja NEUBERT 1976). Lehden reunojen kuivettuessa ennen kuin lehti oli täysikokoinen kääntyivät sen reunat ylös ja lehden keskustan edelleen kasvaessa muodostui toisinaan aika säännöllisiä "kuppeja". Rypsilä boorimyrkytysoireet eivät voimistuneet kasvukauden aikana niin kuin viljoilla tapahtui eikä ylimääräinen boori näyttänyt vähentävän rypsin siemensatoa yhtä herkästi kuin viljojen jyväsatoa.

3. Boorin vaikutus satoon

Boorin merkitys öljykasvien siemensadon muodostumisessa tuli selvästi esille astiakokeissa. Öljykasvilajien vertailukokeessa vähäboorisella saraturpeella (0,28 mg B/l) unikko ei muodostanut ilman boorin lisäämistä yhtään siementä.

Rypsin ja rapsin siemensato oli samassa kokeessa ilman boorilannoitusta kymmenen prosenttia boorilannoituksella saadusta sadosta. Unikon muita öljykasveja suurempi boorin tarve ilmeni siten sekä taimien kasvussa (värikuvaliite, kuva F) että siemensadoissa. (Kuvat H ja J ovat myös tästä samasta kokeesta.) Boorin puutos esti rypsin siementen muodostumisen täydellisesti hyvin vähäboorilla turve-, hieta- ja aitosavimailla.

Happamalla hietasavella, joka otettiin pellostä välittömästi ennen kokeen perustamista ja jonka booritila oli keskinkertainen, boorilannoitus ei vaikuttanut ensimmäisenä vuonna rypsin satoon, kun maata ei kalkittu voimakkaasti (taulukko 27). 12 g viiteen litraan vastaa 4,8 tonnia hehtaarille 20 cm:n kerrokseen sekoitettuna. Puhdistetun CaCO_3 :n (40 % Ca) korvaaminen 35 % "neutraloivaa kalsiumia" sisältävällä kalkitusaineella (kalkkikivijauhe 1) suurentaisi määrän 5,5 tonniksi hehtaarille. Kalkittavan maakerroksen paksuuden eli kyntösyvyyden kasvaessa suurenee tarvittava kalkkimäärä lineaarisesti (6,9 t/25 cm ja 8,2 t/30 cm).

Kun hietasaveen sekoitettiin kalkkia 36 g viiteen litraan, vähensi boorilannoituksen poisjättäminen siemensatoa 23 %, ja kolminkertainen kalkkimäärä pienensi sadon melkein puoleen (taulukko 27). Saven pH-luku (CaCl_2) oli ilman kalkitusta 4,4, 36 g kalkkia nosti sen 6,6:een ja 108 g 7,1:een (taulukko 16, s. 43). Suurempi CaSO_4 -annos näyttää haitanneen rypsin kasvua (taulukko 27), vaikka se ei vaikuttanut rypsin booripitoisuuteen eikä maan pH-lukuun (taulukossa 16 kahden määrän keskiarvot on yhdistetty).

Jälkivaikutusvuonna siementen muodostuminen oli ilman boorilannoitusta heikkoa kaikilla kalkitustasoilla, mutta ylisuurella kalkituksella kaikkein heikointa siementen määrän vähentyessä alle 10 %:iin normaalista (taulukko 27). Yhden vuoden "normaali" boorilannoitus 4 mg/astia riitti täyteen satoon vielä toisenakin vuonna maan ollessa hapanta. Runsas kalkitus vähensi siemensatoa tällä booritasolla toisena vuonna saman verran kuin ilman boorilannoitusta ensimmäisenä vuonna. Varsisatoon boorilannoitus ei hietasavella juuri vaikuttanut.

Kenttäkokeissa boorilannoituksen positiivinen vaikutus rypsin siemensadon määrään oli merkitsevä vain kolmen vuoden keskimääräisessä sadossa Mietoisissa, missä normaali Y-lannos (0,05 % B) tuotti 110 kg/ha eli 5 % runsaamman sadon kuin vastaava "booriton" lannoite (taulukko 28). Boorilannoitus lisäsi satoa Mietoisissa kalkitseemattomalla mutta ei kalkitulla maalla. Kalkitus siis vähensi boorilannoitustarvetta, mikä on päinvastainen tulos, kuin edelläesitetystä astiakokeesta saatiin ja kasvien boorinoton pH-riippuvuuden perusteella oli

odotettavissa. Astiakokeissa runsas kalkitus alensi rypsin taimien booripitoisuutta tästä Mietoisten kokeesta otetulla maalla kaikkein voimakkaimmin.

Taulukko 27. Boorilannoituksen ja kalkituksen vaikutus rypsin satoon happamalla hietasavella ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,5, 0,52 mg B/l).

| Kalkitus g/astia | Boorilannoitus, mg/astia | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Siemenet, g/astia | | | Varret, g/astia | | |
| | 0 | 4 | 16 | 0 | 4 | 16 |
| 1981 (käsittelyvuosi) | | | | | | |
| - | 16,9 ^{bc} | 17,5 ^{bc} | 16,6 ^{bc} | 43,2 ^{ab} | 45,4 ^{a-c} | 43,4 ^{ab} |
| 12 CaCO ₃ ^x | 18,4 ^c | 18,2 ^{bc} | 19,2 ^c | 47,9 ^{a-e} | 47,4 ^{a-e} | 48,4 ^{b-e} |
| 36 " ^{xx} | 15,1 ^b | 19,6 ^c | 19,5 ^c | 47,6 ^{a-e} | 48,0 ^{a-e} | 47,7 ^{b-e} |
| 108 " | 10,4 ^a | 17,1 ^{bc} | 18,1 ^{bc} | 44,0 ^{a-d} | 48,2 ^{b-e} | 47,4 ^{a-e} |
| 16,4 CaSO ₄ ^x | 17,9 ^{bc} | 19,6 ^c | 18,8 ^c | 47,8 ^{a-e} | 49,1 ^{de} | 45,9 ^{a-e} |
| 49,2 " ^{xx} | 16,8 ^{bc} | 17,0 ^{bc} | 17,6 ^{bc} | 43,6 ^{abc} | 42,8 ^a | 42,8 ^a |
| (Mg, K, Na) ^x | 19,9 ^c | 19,5 ^c | 18,5 ^c | 48,4 ^{b-e} | 50,3 ^e | 48,9 ^{cde} |
| 1982 (jälkivaikutusvuosi) | | | | | | |
| - | 7,3 ^b | 23,8 ^{de} | 23,6 ^{de} | 64,6 ^b | 55,1 ^{ab} | 58,3 ^{ab} |
| 12 CaCO ₃ ^x | 8,4 ^b | 23,7 ^{de} | 24,1 ^{de} | 61,8 ^b | 56,0 ^{ab} | 55,8 ^{ab} |
| 36 " ^{xx} | 7,2 ^b | 19,7 ^{cd} | 24,6 ^e | 56,9 ^{ab} | 63,9 ^b | 51,6 ^{ab} |
| 108 " | 2,2 ^a | 18,6 ^c | 22,6 ^{cde} | 49,8 ^{ab} | 63,9 ^b | 64,6 ^b |
| 16,4 CaSO ₄ ^x | 6,7 ^b | 18,5 ^c | 21,4 ^{cde} | 58,1 ^{ab} | 53,6 ^{ab} | 53,0 ^{ab} |
| 49,2 " ^{xx} | 9,0 ^b | 20,5 ^{cde} | 20,5 ^{cde} | 51,2 ^{ab} | 45,1 ^a | 52,5 ^{ab} |
| (Mg, K, Na) ^x | 8,1 ^b | 24,5 ^e | 24,0 ^{de} | 58,5 ^{ab} | 52,6 ^{ab} | 59,0 ^{ab} |

x, xx = ekvivalentit, määrät

Tällainen teoreettisesti epätodennäköinen tulos lienee parhaiten selitettävissä tilastollisesti merkitsevään eroon liittyvällä viiden prosentin erehtymisriskillä. Tulos ei näytä kuitenkaan täysin mahdottomalta. Astiakokeissakin hietasavella (taulukko 27) ja muilla happamilla mailla kohtalainen kalkitus näytti jopa lieventävän boorin puutosta. Kalkitus ei siis satotulosten mukaan vaikuttanut boorilannoitustarpeeseen niin suoraviivaisesti kuin kasvin booripitoisuuden muutoksista voitaisiin olettaa.

Boori on ilmeisesti kasvissa riippuvainen paitsi kalsiumista (JONES ja SCARSETH 1944) myös muista ravinteista. Kalkitus mahdollisesti vähentää boorin toimintaa

Taulukko 28. Rypsin siemensadot boorilannoitus-kalkituskokeissa (9 % kosteus).

| Kalkitus 1981 | B-lannoitus B/ha | Siemensato, kg/ha | | | |
|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | | 1981 | 1982 | 1983 | Keskimäärin |
| Jokioinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 1980 ^a | 2330 ^a | 2560 ^{ab} | 2290 ^a |
| - | 0,35 " | 1990 ^a | 2360 ^a | 2600 ^b | 2320 ^a |
| - | 1,4 " | 1980 ^a | 2360 ^a | 2420 ^a | 2260 ^a |
| - | 5,6 kg -81 | 1930 ^a | 2380 ^a | 2670 ^b | 2330 ^a |
| 10 t/ha | <0,1 kg/v | 1970 ^a | 2400 ^a | 2820 ^b | 2390 ^a |
| " | 0,35 " | 2060 ^a | 2390 ^a | 2840 ^b | 2430 ^a |
| " | 1,4 " | 2140 ^a | 2420 ^a | 2690 ^{ab} | 2420 ^a |
| " | 5,6 kg -81 | 1960 ^a | 2440 ^a | 2820 ^b | 2410 ^a |
| Mietoinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 1560 ^a | 2230 ^a | 2160 ^a | 1980 ^a |
| - | 0,31 " | 1640 ^a | 2370 ^a | 2250 ^a | 2090 ^b |
| - | 1,25 " | 1540 ^a | 2350 ^a | 2180 ^a | 2020 ^{ab} |
| - | 5,0 " | 1560 ^a | 2350 ^a | 2210 ^a | 2040 ^{ab} |
| 8 t/ha | <0,1 kg/v | 1610 ^a | 2450 ^a | 2290 ^a | 2120 ^b |
| " | 0,31 " | 1620 ^a | 2360 ^a | 2310 ^a | 2090 ^b |
| " | 1,25 " | 1570 ^a | 2360 ^a | 2240 ^a | 2060 ^{ab} |
| " | 5,0 " | 1580 ^a | 2370 ^a | 2290 ^a | 2080 ^b |
| Kokemäki | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 1700 ^a | 1570 ^a | 2500 ^b | 1920 ^b |
| - | 0,3 " | 1660 ^a | 1640 ^a | 2550 ^b | 1950 ^b |
| - | 1,2 " | 1460 ^a | 1630 ^a | 2180 ^a | 1760 ^a |
| - | 4,8 kg -81 | 1420 ^a | 1580 ^a | 2510 ^b | 1840 ^{ab} |
| 7 t/ha | <0,1 kg/v | 1690 ^a | 1490 ^a | 2560 ^b | 1910 ^{ab} |
| " | 0,3 " | 1680 ^a | 1580 ^a | 2460 ^{ab} | 1910 ^{ab} |
| " | 1,2 " | 1800 ^a | 1550 ^a | 2490 ^{ab} | 1950 ^{ab} |
| " | 4,8 kg -81 | 1540 ^a | 1450 ^a | 2630 ^b | 1870 ^{ab} |

häiritseviä ioneja solujen sisällä esimerkiksi vähentämällä metallisten hivenravinteiden ottoa. Kalkituksen suurentaessa raiheinän sadon määrää suhteessa kasvin ottaman fosforin määrään fosforin saannin ollessa satoa rajoittava (SAARELA 1983, s. 8) on vaikutusmekanismi ehkä ollut samankaltainen.

Jokioisissa vuonna 1981 rypsin siemensato oli juuri kalkitulla maalla booria sisältäviä (0,35-1,4 kg/ha) lannoitteita sijoitettaessa 100-180 kg/ha suurempi kuin muilla kahdella koejäsenellä. Erotus on merkitsevä alle viiden prosentin riskillä, mutta kun varastolannoitus 5,6 kg B/ha on mahdollisesti ollut myrkyllinen, sitä ei voitane rinnastaa "boorittomaan" lannoitukseen eikä sen vapausasteita käyttää tilastollisen erotuskyvyn tehostamiseen boorin positiivista vaikutusta testattaessa. Rypsin lehtien booripitoisuus oli Jokioisten hietasavella vuosina 1981 ja 1983 niin alhaisella tasolla, että puutos näytti mahdolliselta (taulukko 21, s. 61).

Boorin haitallinen vaikutus rypsiin ilmeni kenttäkokeissa selvemmin kuin sen positiivinen vaikutus. Vuonna 1982 booripitoinen Y-lannos tuotti Jokioisissa ja Kokemäellä noin 100-350 kg/ha eli 5-14 % pienemmän siemensadon kuin muut lannoitteet. Kalkitus näyttää vähentäneen boorin myrkyllisyyttä kummassakin kokeessa, mutta yhdysvaikutukset eivät ole merkitseviä. Kokemäellä booripitoinen Y-lannos oli kalkitsemattomalla maalla myös kolmen vuoden keskiarvoissa muita huonompi. Keskimäärin kaikissa kokeissa booripitoinen Y-lannos antoi ilman kalkitusta 110 kg/ha eli 5 % pienempiä satoja kuin normaali Y-lannos, mutta kalkitus poisti tämän eron kokonaan.

Liiasta boorista johtuvaa sadonalennusta ei juuri osattu ennustaa rypsin lehtien booripitoisuuden perusteella, kun korkeimmat booripitoisuudet todettiin jopa eri vuosina kuin sadonalennukset (taulukko 21, s. 61). Lehtianalyysit osoittivat kuitenkin, että nimenomaan sijoituslannoituksena annettua booria siirtyy runsaasti kasviin ja selittävät näin kohtuullistenkin boorimäärien myrkyllisyyden. Mietoisissa soluboorin ruiskuttaminen kasvustoon alensi satoa vuonna 1982. Ruiskutettaessa ainemäärä oli suunnitelman mukaan yksi kilo hehtaarille (0,2 kg B/ha), mutta maassa kokeen lopussa olleen kuumavesiliukoisen boorin perusteella määrän on täytynyt olla huomattavasti suurempi.

Rypsi- ja rapsilajikkeet reagoivat boorin määrään samankaltaisesti myös siemensatojen perusteella (taulukko 29) kuten taimien booripitoisuuksienkin perusteella. Kun lajikkeiden vertailukokeessa oli kerranteita vain kolme ja toisena vuonna taimipolte aiheutti hiukan tavallista suurempaa epätasaisuutta, eivät suhdelukujen erot muodostuneet öljykasvilajikkeiden välillä merkitseviksi. Ver-

tailukasveista ohran, herneen ja perunan boorin tarve oli kokeessa selvästi vähäisempi kuin ristikukkaisten öljykasvien boorin tarve. Sokerijuurikas näytti pikemmin öljykasveja vaatimattomammalta kuin vaateliaammalta. Eniten boorin puutos vähensi siemensatoa härkävavulla. Boorin puutos suurensi varsisatoa härkävavulla ja myös ohralla huomattavasti enemmän kuin öljykasveilla.

Taulukko 29. Öljykasvi- ja muiden lajikkeiden suhteelliset sadot astiakokeessa ilman boorilannoitusta (boorilannoitetun sadon suhdeluku = 100).

| Lajike | Sadon suhdeluku | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Pääsato | | Varret | |
| | 1982 | 1983 | 1982 | 1983 |
| | Kalkittu turve | | | |
| Pomo-ohra | 37 ^{xxx} | - | 142 ^{xxx} | - |
| Ante-rypsi | 0 ^{xxx} | - | 0 ^{xxx} | - |
| | Saraturve | | | |
| Pomo-ohra | 98 | - | 101 | - |
| Salohill-sokerijuurikas | 90 | 70 ^x | 92 | 85 |
| Pito-/Rekord-peruna | 103 | 95 | 94 | 108 |
| Heikka-/Proco-herne | 102 | 96 | 97 | 100 |
| Mikko-härkäpapu | 91 | 26 ^{xxx} | 98 | 211 ^{xxx} |
| Topas-rapsi | 97 | 53 ^{xxx} | 97 | 104 |
| Lergo-rapsi | 102 | 66 ^{xxx} | 101 | 120 |
| Ante-rypsi | 102 | 72 ^{xx} | 102 | 101 |
| Emma-rypsi | 88 ^x | 78 ^{xx} | 106 | 115 |
| Span-rypsi | 95 | 55 ^{xxx} | 104 | 110 |
| Vankka-rypsi | 95 | 73 ^{xx} | 99 | 112 |

Siementen öljypitoisuus vaihteli kenttäkokeissa aika vähän (taulukko 30), mutta hyvin pienetkin suhteelliset erot olivat joissakin tapauksissa merkitseviä. Yleensä öljypitoisuus näyttäisi olevan korkein sadon ollessa suurin, mutta kolmantena vuonna Jokioisissa ja Kokemäellä siementen öljypitoisuus päinvastoin nousi sadon määrän pienentyessä sijoitetun boorin takia.

Taulukko 30. Rypsin siementen öljypitoisuus boorilannoitus-kalkituskokeissa.

| Kalkitus 1981 | B-lannoitus B/ha | Öljypitoisuus, % kuiva-aineesta | | | |
|------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | 1981 | 1982 | 1983 | Keskimäärin |
| Jokioinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 44,4 ^a | 44,9 ^a | 46,2 ^a | 45,2 ^a |
| - | 0,35 " | 44,4 ^a | 44,8 ^a | 46,1 ^a | 45,1 ^a |
| - | 1,4 " | 44,2 ^a | 44,9 ^a | 46,5 ^a | 45,2 ^a |
| - | 5,6 kg -81 | 44,0 ^a | 44,6 ^a | 45,9 ^a | 44,8 ^a |
| 10 t/ha | <0,1 kg/v | 44,4 ^a | 44,4 ^a | 45,5 ^a | 44,8 ^a |
| " | 0,35 " | 44,9 ^a | 44,7 ^a | 45,2 ^a | 44,9 ^a |
| " | 1,4 " | 44,4 ^a | 44,5 ^a | 45,9 ^a | 44,9 ^a |
| " | 5,6 kg -81 | 44,6 ^a | 44,3 ^a | 45,1 ^a | 44,7 ^a |
| Mietoinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 44,6 ^a | 44,2 ^{ab} | 45,7 ^{ab} | 44,8 ^{ab} |
| - | 0,31 " | 44,5 ^a | 44,9 ^{ab} | 45,7 ^{ab} | 45,0 ^{ab} |
| - | 1,25 " | 44,2 ^a | 44,7 ^{ab} | 45,7 ^{ab} | 44,8 ^{ab} |
| - | 5,0 " | 44,6 ^a | 44,7 ^{ab} | 45,4 ^{ab} | 44,9 ^{ab} |
| 8 t/ha | <0,1 kg/v | 43,8 ^a | 44,2 ^{ab} | 44,8 ^a | 44,3 ^a |
| " | 0,31 " | 44,2 ^a | 44,7 ^b | 45,4 ^{ab} | 44,8 ^b |
| " | 1,25 " | 44,0 ^a | 44,4 ^{ab} | 45,5 ^b | 44,6 ^b |
| " | 5,0 " | 44,3 ^a | 43,9 ^a | 44,6 ^a | 44,2 ^a |
| Kokemäki | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 42,4 ^a | 42,6 ^{ab} | 44,6 ^{ac} | 43,2 ^a |
| - | 0,3 " | 42,1 ^a | 42,8 ^{ab} | 45,1 ^{ac} | 43,3 ^a |
| - | 1,2 " | 42,7 ^a | 43,0 ^{ab} | 46,3 ^{bd} | 44,0 ^b |
| - | 4,8 kg -81 | 41,7 ^a | 42,9 ^{ab} | 45,0 ^{ac} | 43,2 ^a |
| 7 t/ha | <0,1 kg/v | 43,0 ^a | 43,8 ^b | 45,1 ^a | 44,0 ^{ab} |
| " | 0,3 " | 42,7 ^a | 43,0 ^a | 44,6 ^a | 43,4 ^{ab} |
| " | 1,2 " | 42,9 ^a | 42,9 ^a | 45,5 ^{bcd} | 43,3 ^{ab} |
| " | 4,8 kg -81 | 42,5 ^a | 43,3 ^{ab} | 44,6 ^a | 43,5 ^{ab} |

Öljysadot määräytyivät pääasiassa sadon määrän mukaan (taulukko 31). Kuitenkin merkitseviä eroja oli öljysadoissa hiukan enemmän. Jokioisissa ensimmäisenä vuonna varastolannoitus ilman kalkitusta tuotti pienemmän öljysadon kuin booripitoinen Y-lannos kalkituksen kanssa. Mietoisissa "booriton" lannoitus oli kalkitsemattomalla maalla toisena vuonna merkitsevästi huonompi. Kolmannen vuoden ja keskimääräiset tulokset ovat hyvin samanlaiset sekä öljysatojen että siemensatojen mukaan tarkasteltuina.

Klorofyllipitoisuus jäi Kokemäellä epätasaisen taimettumisen ja tuleentumisen takia korkeammiksi kuin muilla koepaikoilla (taulukko 32). Lannoitteiden väliset erot olivat pieniä, mutta osittain merkitseviä. Klorofyllipitoisuus näyttää olleen pienin sadon määrän ollessa suurin. Kahdessa kokeessa normaali Y-lannos on johtanut pienempään siementen klorofyllipitoisuuteen kuin booripitoinen Y-lannos. Boorilannoitus ja kalkitus eivät vaikuttaneet kenttäkokeissa siementen valkuaispitoisuuteen, keskimääriseen painoon eivätkä puintikosteuteen (taulukko 32).

Lajikkeiden vertailukokeessa boorilannoitus ei ensimmäisenä vuonna vaikuttanut siementen keskimääräiseen kappalepainoon, mutta toisena vuonna boorilannoituksen pois jättäminen aiheutti siementen painon suurenemisen (taulukko 33). Molemmilla rapsilajikkeilla boorin puutos suurensi siementen painoa noin 50 %. Tämä suurentunut koko näkyi siemennäytteistä selvästi silmävaraisestikin. Rypsilajikkeilla Vankkaa lukuunottamatta boorin niukkuus suurensi siementen painoa 10-25 %.

Boorin puutos huononsi siementen itävyyttä kaikilla niillä öljykasvilajikkeilla, joilla se vaikutti siementen painoonkin (taulukko 33). Boorinpuutoksen aiheuttama klorofyllipitoisuuden kohoaminen oli todettavissa siemennäytteistä silmävaraisestikin vihreiden siementen runsautena.

Vaikka boorin puute haittasi astiakokeissa vegetatiivistakin kasvua, on boorin saannin turvaaminen saatujen tulosten mukaan tärkeintä siemensatoja tuotettaessa. Muissa tutkimuksissa on saatu tässä suhteessa samanlaisia tuloksia ristikkukaisilla öljykasveilla (HASLER ja MAURIZIO 1949, KOSKINEN 1952) kuten muillakin kasveilla (mm. HÄNNINEN 1966, BLAMEY 1976, SHERRELL 1983c). Boorin puutteen on todettu suurentavan siementen kokoa rapsilla myös pellolla (TEUTEBERG 1978). Syysöljykasvien siementen kokoa boorilannoitus on näyttänyt suurentavan samassa suhteessa kuin satoakin (JOHANSSON ja NILSSON 1973).

Taulukko 31. Rypsin öljysadot boorilannoitus-kalkituskoikkeissa.

| Kalkitus 1981 | B-lannoitus B)ha | Öljysato, kg/ha | | | Keskimäärin |
|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | 1981 | 1982 | 1983 | |
| Jokioinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 800 ^{ab} | 950 ^a | 1070 ^{ab} | 940 ^a |
| - | 0,35 " | 800 ^{ab} | 960 ^a | 1090 ^{ab} | 950 ^a |
| - | 1,4 " | 800 ^{ab} | 960 ^a | 1020 ^a | 930 ^a |
| - | 5,6 kg -81 | 770 ^a | 970 ^a | 1110 ^b | 950 ^a |
| 10 t/ha | <0,1 kg/v | 800 ^{ab} | 970 ^a | 1160 ^b | 980 ^a |
| " | 0,35 " | 840 ^{ab} | 970 ^a | 1170 ^b | 990 ^a |
| " | 1,4 " | 860 ^b | 980 ^a | 1120 ^{ab} | 990 ^a |
| " | 5,6 kg -81 | 790 ^{ab} | 980 ^a | 1160 ^b | 980 ^a |
| Mietoinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 630 ^a | 900 ^a | 890 ^a | 810 ^a |
| - | 0,31 " | 660 ^a | 970 ^b | 940 ^a | 860 ^b |
| - | 1,25 " | 620 ^a | 950 ^b | 900 ^a | 830 ^{ab} |
| - | 5,0 " | 630 ^a | 950 ^b | 910 ^a | 830 ^{ab} |
| 8 t/ha | <0,1 kg/v | 640 ^a | 980 ^{ab} | 930 ^a | 850 ^b |
| " | 0,31 " | 650 ^a | 960 ^{ab} | 950 ^a | 850 ^b |
| " | 1,25 " | 630 ^a | 950 ^{ab} | 930 ^a | 840 ^{ab} |
| " | 5,0 " | 640 ^a | 940 ^{ab} | 930 ^a | 840 ^{ab} |
| Kokemäki | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 660 ^a | 610 ^a | 1010 ^b | 760 ^b |
| - | 0,3 " | 640 ^a | 640 ^a | 1050 ^b | 770 ^b |
| - | 1,2 " | 570 ^a | 640 ^a | 920 ^a | 710 ^a |
| - | 4,8 kg -81 | 540 ^a | 620 ^a | 1020 ^b | 730 ^{ab} |
| 7 t/ha | <0,1 kg/v | 660 ^a | 590 ^a | 1050 ^{ab} | 770 ^b |
| " | 0,3 " | 650 ^a | 620 ^a | 1000 ^{ab} | 760 ^{ab} |
| " | 1,2 " | 700 ^a | 610 ^a | 1030 ^{ab} | 780 ^b |
| " | 4,8 kg -81 | 590 ^a | 570 ^a | 1070 ^b | 750 ^{ab} |

Taulukko 32. Rypsin siemensadon laatuominaisuuksia boorilannoitus-kalkitus-kokeissa.

| Kalkitus 1981 | B-lannoitus B/ha | Klorofylli mg/kg (-81) | Valkuaispit. % (-81) | TSP g keskim. | Puintikosteus % keskim. |
|------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|
| Jokioinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 10 ^{ab} | 20,9 ^a | 2,31 ^a | 16,9 ^a |
| - | 0,35 " | 8 ^{ab} | 20,9 ^a | 2,29 ^a | 16,8 ^a |
| - | 1,4 " | 11 ^{ab} | 21,2 ^a | 2,32 ^a | 16,8 ^a |
| - | 5,6 kg -81 | 10 ^{ab} | 21,1 ^a | 2,30 ^a | 17,1 ^a |
| 10 t/ha | <0,1 kg/v | 9 ^b | 21,0 ^a | 2,30 ^a | 16,5 ^a |
| " | 0,35 " | 6 ^a | 21,0 ^a | 2,31 ^a | 16,6 ^a |
| " | 1,4 " | 9 ^b | 21,1 ^a | 2,27 ^a | 16,8 ^a |
| " | 5,6 kg -81 | 8 ^{ab} | 21,3 ^a | 2,29 ^a | 17,0 ^a |
| Mietoinen | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 7 ^a | 22,9 ^a | 2,35 ^a | |
| - | 0,31 " | 6 ^a | 23,2 ^a | 2,40 ^a | |
| - | 1,25 " | 7 ^a | 23,2 ^a | 2,38 ^a | |
| - | 5,0 " | 7 ^a | 23,2 ^a | 2,40 ^a | |
| 8 t/ha | <0,1 kg/v | 10 ^a | 23,7 ^a | 2,41 ^a | |
| " | 0,31 " | 7 ^a | 23,4 ^a | 2,37 ^a | |
| " | 1,25 " | 8 ^a | 23,3 ^a | 2,35 ^a | |
| " | 5,0 " | 10 ^a | 23,2 ^a | 2,33 ^a | |
| Kokemäki | | | | | |
| - | <0,1 kg/v | 28 ^a | 23,7 ^a | 2,50 ^a | |
| - | 0,3 " | 32 ^a | 23,7 ^a | 2,52 ^a | |
| - | 1,2 " | 55 ^b | 23,5 ^a | 2,49 ^a | |
| - | 4,8 kg -81 | 55 ^b | 24,2 ^a | 2,53 ^a | |
| 7 t/ha | <0,1 kg/v | 33 ^{ab} | 23,0 ^a | 2,49 ^a | |
| " | 0,3 " | 38 ^{ab} | 23,6 ^a | 2,52 ^a | |
| " | 1,2 " | 31 ^{ab} | 22,2 ^a | 2,50 ^a | |
| " | 4,8 kg -81 | 43 ^{ab} | 23,7 ^a | 2,52 ^a | |

Taulukko 33. Boorilannoituksen vaikutus rapsi- ja rypsilajikkeiden siementen kokoon ja itävyyteen.

| Lajike | B-lannoitus mg/astia | Siemenen paino, mg | | Itävyys, % 1983 |
|--------|-------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | 1982 | 1983 | |
| Rapsit | | | | |
| Topas | 0 | 4,1 | 4,5 ^{XX} | 21 ^{XX} |
| | 4 | 4,0 | 3,1 | 70 |
| Lergo | 0 | 4,0 | 4,2 ^{XX} | 31 ^X |
| | 4 | 4,0 | 2,8 | 67 |
| Rypsit | | | | |
| Ante | 0 | 2,6 | 2,5 ^{XX} | 85 ^X |
| | 4 | 2,5 | 2,0 | 98 |
| Emma | 0 | 2,4 | 2,2 ^X | 88 ^{XXX} |
| | 4 | 2,2 | 2,0 | 99 |
| Span | 0 | 2,5 | 2,4 ^{XX} | 79 ^{XX} |
| | 4 | 2,3 | 2,0 | 97 |
| Vankka | 0 | 2,5 | 2,5 | 76 |
| | 4 | 2,6 | 2,4 | 75 |

Boorin heikko vaikutus siementen öljypitoisuuteen on yhdenmukainen muiden tutkimusten kanssa (mm. GERATH ym. 1975, TEUTEBERG 1978, JUEL 1980, LARPES 1980, CEDELL 1982). Boorin lisätessä sadon määrää siementen klorofyllipitoisuus on alentunut (TEUTEBERG 1978), mutta sadon määrän suhteen tarpeeton boorilannoitus on pikemminkin suurentanut klorofyllipitoisuutta (CEDELL 1982).

Joillakin kasveilla sopiva boorilannoitus on tärkeä nimenomaan sadon laadun kannalta. Mm. tomaatilla sekä riittämättömän että liiallisen boorin saannin on havaittu vähentävän happoisuutta ja C-vitamiinipitoisuutta (PINERO ym. 1977b). Retiisistä on löytynyt boorin puutteessa myrkyllisiä yhdisteitä tavallista enemmän (BIBLE ym. 1981). Turnipsilla boorin niukkuuden on mitattu lisänneen glukosinolaattipitoisuutta (JU ym. 1982). Brassica-lajien juureksiin boorin puutteella on tunnetusti turmiollinen vaikutus (JAMALAINEN 1935a ym.).

Rypsillä eli "öljynauriilla" optimaalisesta poikkeava boorin saanti näyttää vähentävän nimenomaan sadon määrää, mutta vähemmän sen käyttöarvoa elintarvike-

teollisuuden raaka-aineena (mm. TEUTEBERG ja TRAUTSCHOLD 1978). Öljykasvien siementuotannossa riittävällä boorilannoituksella on tulosten mukaan erityistä merkitystä siementen elinvoimaisuuden varmistajana.

Työssä todettu boorin myrkyllisyys kasville lannoituksessa yleisesti käytettävänä annoksina ei sinänsä ole poikkeuksellista (mm. HOVI 1947, STABEL 1970, WOODRUFF 1979, TOUCHTON ym. 1980). Brassica-suvun öljykasveillakin tarpeettoman boorilannoituksen on havaittu aiheuttaneen vähäistä sadonalennusta (JOHANSSON ja NILSSON 1973, LARPES 1980). Kuitenkin Brassica-lajit mainitaan kirjallisuudessa nimenomaan booria runsaasti tarvitsevinä ja verrattain hyvin kestävinä kasveina (mm. BERGER 1949, MENGEL ja KIRKBY 1978). Lantun ja naattinauriin boorinsietokyky on todettu Suomessakin (JAMALAINEN 1935b, TÄHTINEN 1970). Lantulle ja rapsille annetun runsaan boorilannoituksen oletetaan haittaavan vasta niiden jälkeen viljeltäviä arkoja kasveja (mm. TEUTEBERG 1978), mutta kaikki koetulokset eivät tue tätä olettamusta (HOVI 1947, TÄHTINEN 1970, GUPTA ja CUTCLIFFE 1982).

Boorilannoituksen aiheuttama odottamattoman selvä sadonvähennys on ilmeisesti johtunut paljolti käytetystä lannoitusmenetelmästä. Rypsin lehtien booripitoisuuden mukaan (taulukko 21, s. 61) lannoitteen sijoittaminen tehosti lannoiteboorin vaikutuksen lähes kolminkertaiseksi. Savimailla boorin sijoittamisen merkitys näyttää olevan suurempi kuin karkeilla mailla. Rivilannoitus on lehti-analyyysien mukaan tehostanut boorin hyväksikäyttöä suunnilleen yhtä paljon myös maissilla (PETERSON ja MACGREGOR 1966) ja lantulla, jolla pienen boorimäärän sijoittaminen riveihin on vähentänyt myös ruskotautia (GUPTA ja CUTCLIFFE 1978, GUPTA 1979b). MORTVEDT ja OSBORN (1965) havaitsivat korkean booriväkevyyden hidastavan kauran ja mailasen juuren kasvua lannoiterakeiden läheisyydessä.

VI ÖLJYKASVIEN BOORILANNOITUSTARVE

1. Öljykasvien boorintarve

Kun boorilla on elintärkeitä tehtäviä kasvien solukoiden sisällä, osoittanee kyseisten solukoiden booritilaa parhaiten niiden itsensä booripitoisuus. Vaikka kokonaispitoisuus ei välttämättä osoita ravinteiden fysiologista aktiivisuutta, arvioidaan kasvien booritilaa kuten muidenkin ravinteiden saantia tavallisesti kokonaispitoisuuden perusteella. Kasvien booritilaa on tarkasteltu myös kalsiumin ja boorin suhteen perusteella (mm. JONES ja SCARSETS 1944), mutta booripitoisuuden sinänsä on arvioitu olevan tärkeämpi kuin boorin ja muiden ravinteiden

den suhteet (GUPTA 1979b). Kun kasvin kalsiumpitoisuuden huomioon ottaminen ei tämän työn aineiston alustavassa tarkastelussa tarkentanut kasvianalyysiin perustuvaa booritilan arviointia, esitetään seuraavassa ainoastaan booripitoisuuteen perustuvat selvitykset.

Maan booritestausta -kokeessa ilman boorilannoitusta saatu rypsin siemensato oli positiivisessa vuorosuhteessa kaikkien analysoitujen kasvin osien booripitoisuuden kanssa, mutta regressioyhtälöiden selvitysasteet jäivät melko alhaisiksi (taulukko 34). Taimien kasvuun vaikuttivat suuresti vaihtelevat maan fysikaaliset ominaisuudet huomattavasti aiheuttaen ilmeisesti suuren osan kuvassa 21 näkyvästä yksittäisten maaerien välisestä hajonnasta. Vain kahden kerranteen tulosten keskiarvojen luotettavuusvälit ovat myös leveät.

Kuvassa 22 esitettävät tulokset on koottu useista eri astiakokeista. Niiden mukaan pienten rypsin taimien booripitoisuuden tulisi olla noin 25 mg/kg, jotta boorin niukkuus ei häiritse siemensadon muodostumista. Yksittäisissä kokeissa tämä "puutosraja" on vaihdellut graafisen tarkastelun mukaan suunnilleen välillä 18-32 mg/l. Kuvan 21 tulokset painottuvat tälle samalle välille. Korkea maan pH-luku pikemminkin pienentää kuin suurentaa rypsin taimien boorintarvetta (kuva 22). Taimien B/Ca-suhde olisi siten epätarkempi boorin riittävyyden osoittaja kuin taimien booripitoisuus.

Rypsin siemensadon riippuvuus varsien booripitoisuudesta oli regressioanalyysin mukaan erittäin löyhä selvitysasteen ollessa parabelimallissa vain 0,38 (taulukko 34). Tässä tapauksessa muunnetulla muuttujalla laskettu lineaarinen regressio antoi kuitenkin pahoin virheellisen tuloksen. Aineiston graafisesta esityksestä (kuva 23) voidaan nimittäin havaita riippuvuuden olleen pienillä pitoisuuksilla hyvin kiinteä. Kun siemensato suurenee varsien booripitoisuudella 12-15 mg/kg erittäin jyrkästi, on x-akselin suuntainen hajonta jäänyt pieneksi ja lineaarisen regressioasteen selvitysaste alhaiseksi. Graafisen määrittämisen mukaan täyteen siemensatoon tarvittavan rypsin varsien booripitoisuuden vaihteluväli on sängen kapea, noin 13-17 mg/kg. Aivan sama tulos saadaan myös eri astiakokeista laaditusta yhdistelmästä (kuva 24). Kalkitus ja maalaji eivät näytä vaikuttaneen rypsin varsien boorintarpeeseen.

Rypsin lehtien booripitoisuus ei näytä osoittavan rypsin booritilaa siemensatojen perusteella tarkasteltuna kovinkaan hyvin selvitysasteen ollessa vain 0,55 (taulukko 34). Näitä maan booritestausta -kokeen tuloksia on ehkä jonkin verran huomionnut muutamien lehtien mahdollinen joutuminen väärään pussiin varisseita lehtiä kerättyäessä. Graafisesta esityksestä (kuva 25) nähdään kuitenkin, että leh-

Taulukko 34. Rypsin siemensadon riippuvuus rypsin osien booripitoisuudesta.

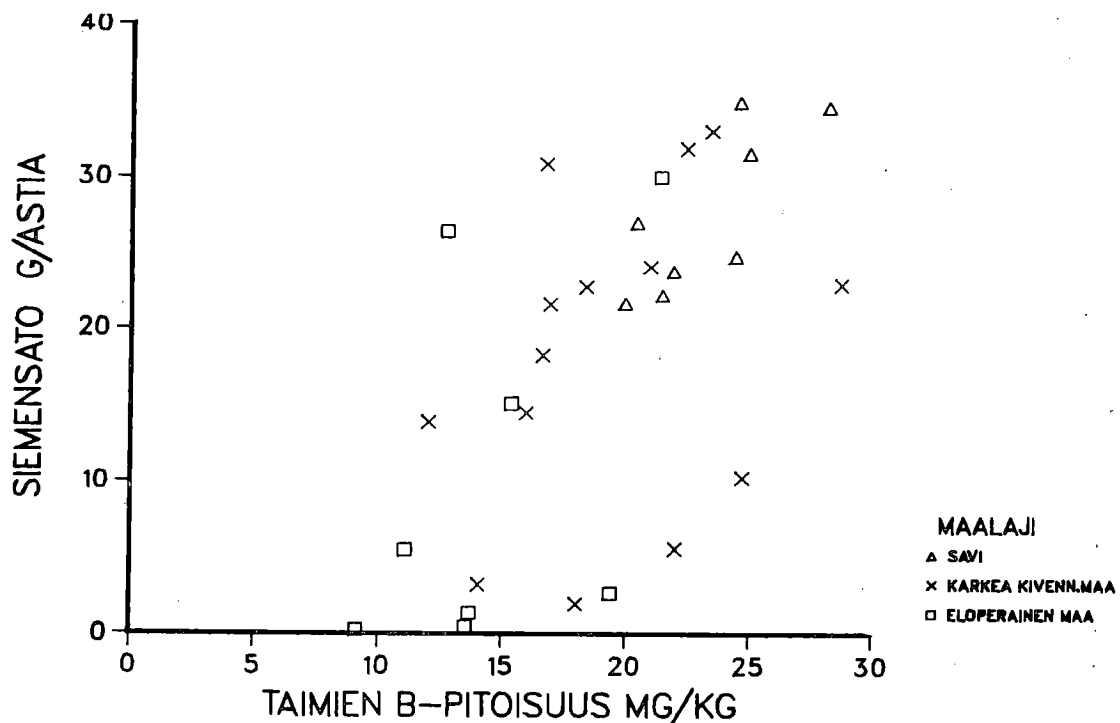
| Riippuva muuttuja | Riippumattomat muuttujat ja niiden kertoimet luotettavuusrajoineen (5 %) | Selvitysaste |
|-------------------|--|--------------|
| Sato 1981 g/astia | = 1,38 BT - 7,8 ±0,69 ±13,8 | $r^2 = 0,37$ |
| " | = 5,55 BV - 0,104 (BV) ² -37,8 ±3,53 ± 0,082 ±33,2 | $R^2 = 0,38$ |
| " | = 3,31 BL - 0,041 (BL) ² -37,0 ±1,75 ± 0,029 ±24,9 | $R^2 = 0,55$ |
| " | = 2,33 BS - 3,66 ±0,41 ± 4,20 | $r^2 = 0,53$ |

BT = taimien booripitoisuus, mg/kg

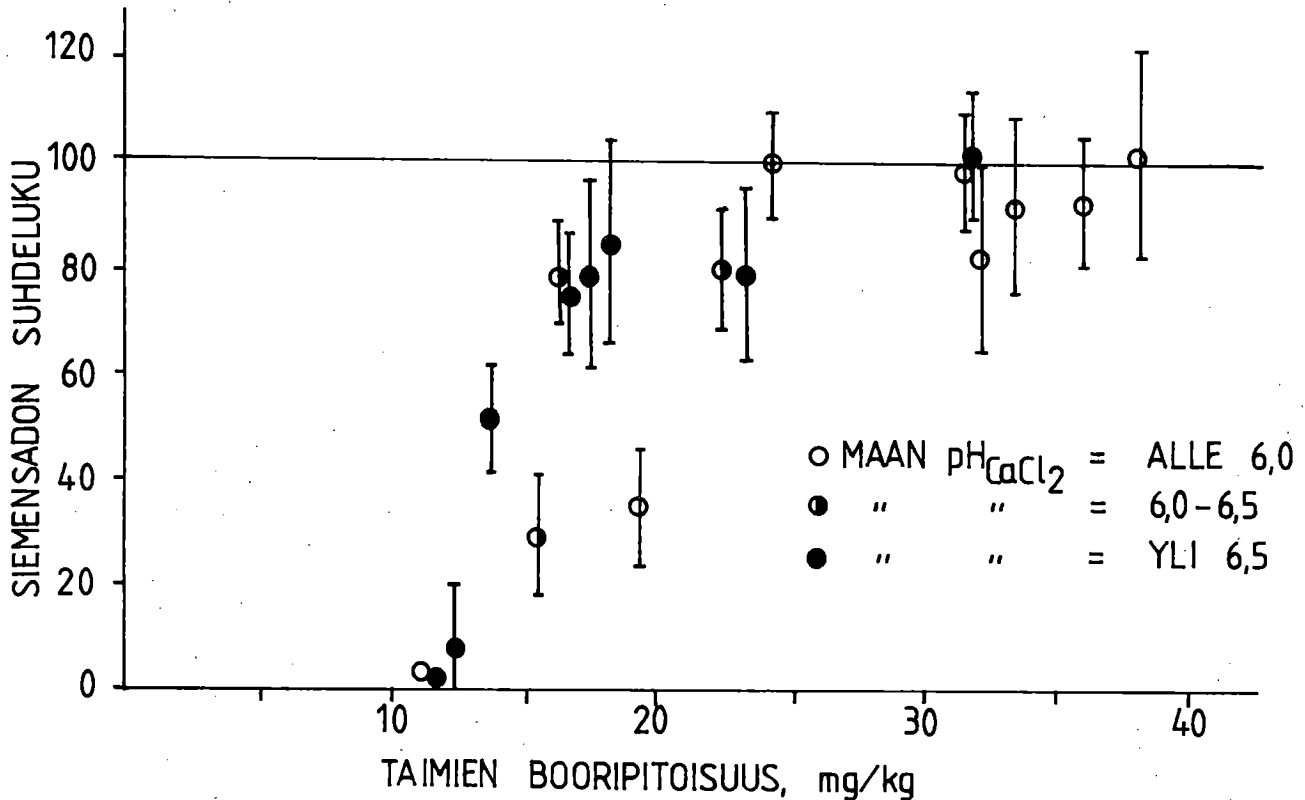
BV = varsien " "

BL = lehtien " "

BS = siementen " "



Kuva 21. Rypsin siemensadon riippuvuus taimien booripitoisuudesta.

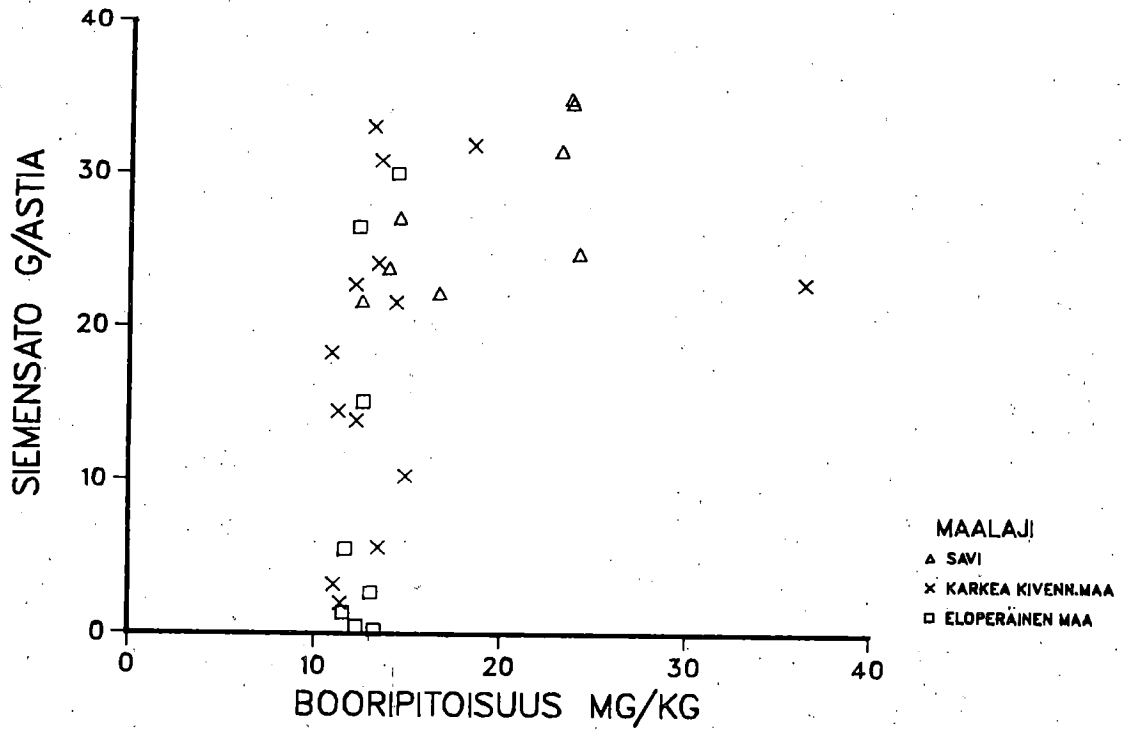


Kuva 22. Ilman boorilannoitusta astiakokeissa saadun rypsin siemensadon suhdeluvun (B-lannoituksella saatu sato = 100) riippuvuus taimien booripitoisuudesta.

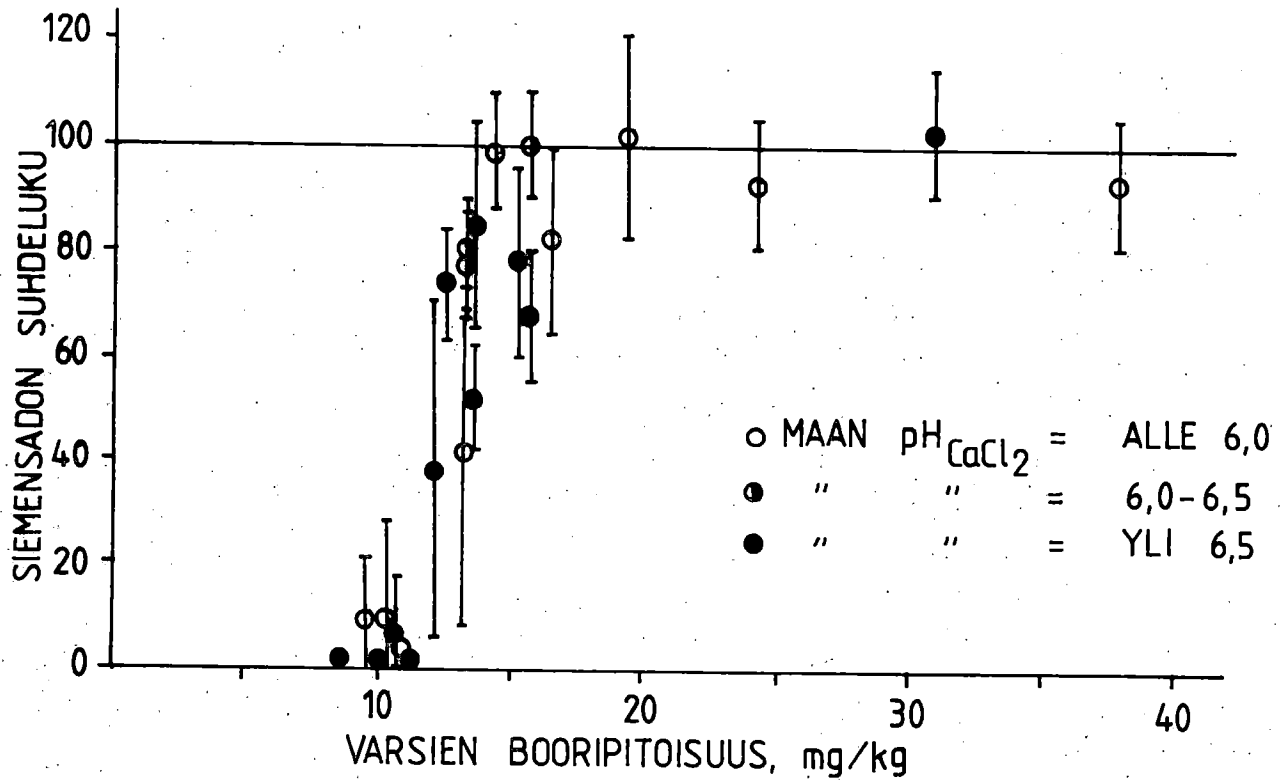
tien booripitoisuuden ollessa alle 20 mg/kg on siemeniä yleensä muodostunut kovin vähän. Lehtien booripitoisuus 30 mg/kg näyttäisi riittävän, mutta muissa kokeissa (joita ei esitetä tarkemmin) lehtien boorintarve oli hiukan korkeampi. Lehtien booripitoisuuden "puutosraja" näyttää vaihtelevan välillä 22-38 mg/kg.

Myös siementen booripitoisuuden ja niiden määrän välillä oli tilastollista riippuvuutta (taulukko 34). Ankarassa boorin puutteessa rypsin siementen booripitoisuus oli noin 10 mg/kg normaalisti kehittyneiden siementen pitoisuuden ollessa useimmiten tämän rajan yläpuolella (kuva 26).

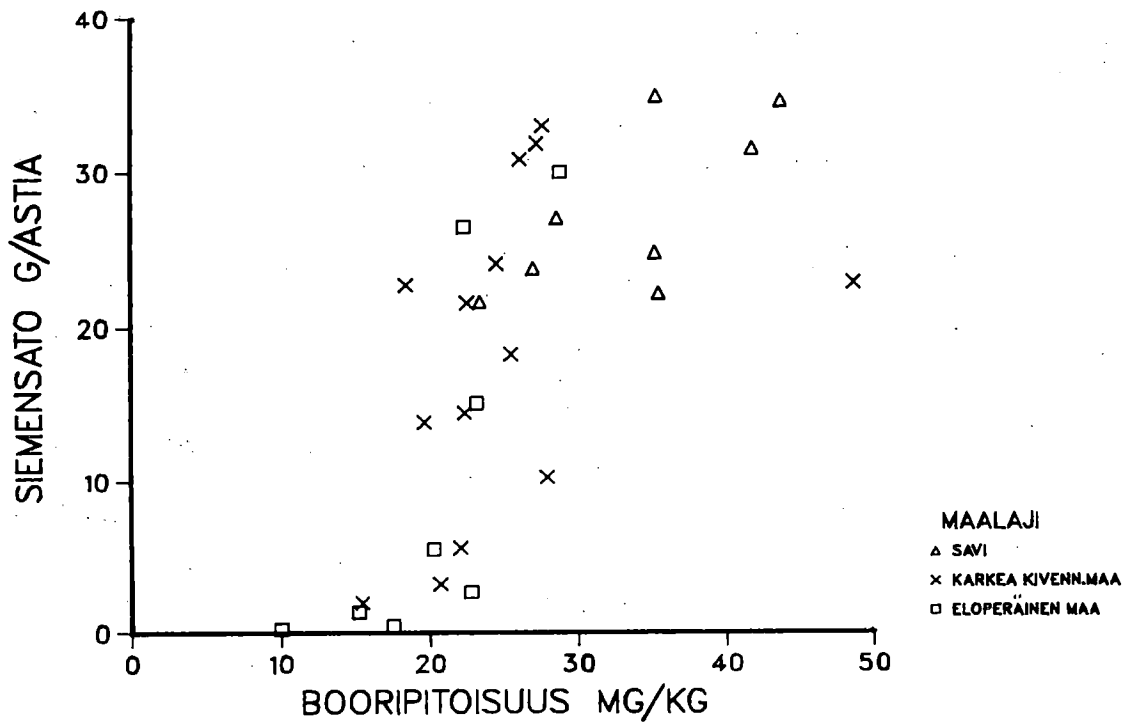
Edellä esitetyt kasvin sisäisen boorintarpeen määritykset on tehty kaikki rypsilä, mutta ne lienevät yhtä käyttökelpoisia booritilan arvioinnissa myös rapsilla. Tähän päätelmään oikeuttavat laji- ja lajikevertailujen tulokset, kun sekä booripitoisuudet että suhteelliset sadot eri booritasoilla olivat rypsilä ja rapsilla hyvin samanlaiset. GERATH ym. (1975) ovat määrittäneet rapsin siemenistä osittain alempia booripitoisuuksia, kuin tässä työssä saatiin rypsistä. Muilta osin kirjallisuudessa esitetyt niukat tiedot rypsin ja rapsin riittävästä booripitoisuudesta eivät ole ristiriidassa saatujen tulosten kanssa (mm. BERGMANN ja NEUBERT 1976).



Kuva 23. Rypsin siemensadon riippuvuus varsien booripitoisuudesta.



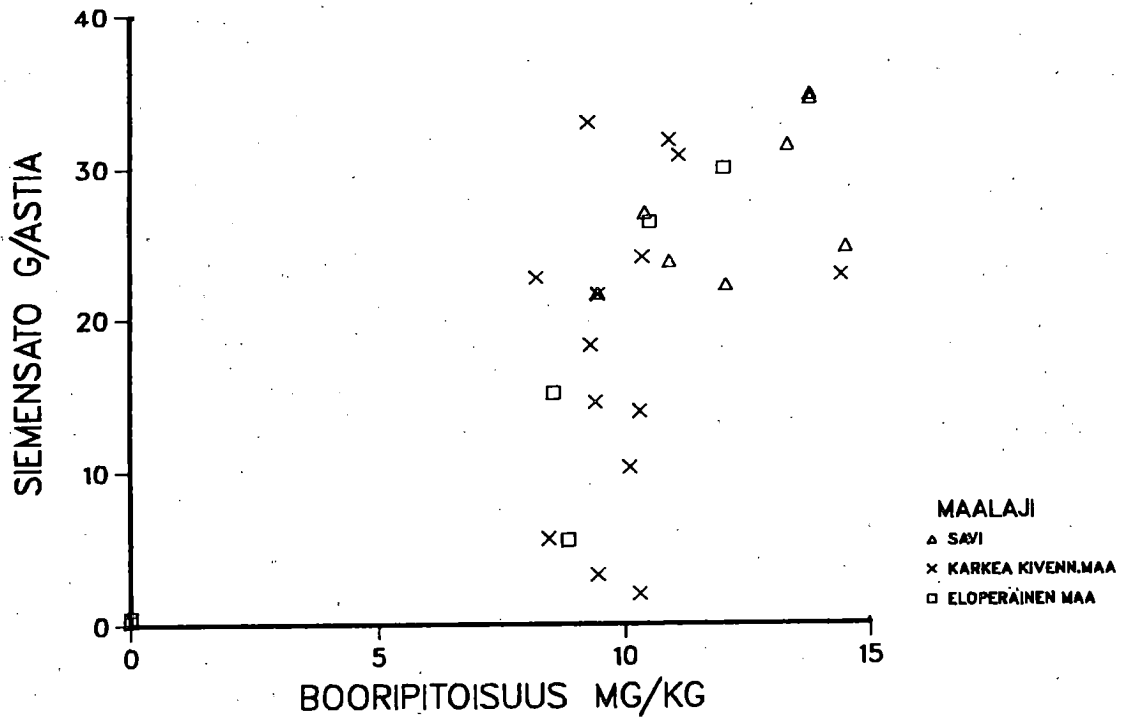
Kuva 24. Ilman boorilannoitusta astiakokeissa saadun rypsin siemensadon suhdeluvun (B-lannoituksella saatu sato = 100) riippuvuus varsien booripitoisuudesta.



Kuva 25. Rypsin siemensadon riippuvuus lehtien booripitoisuudesta.

Käytännössä rypsin ja rapsin boorin saannin riittävyyden toteamiseen kasvista soveltunee parhaiten lehtianalyysi. Sen etuna varsien tai koko kasvien analyysiin verrattuna on korkeampi pitoisuus ja sen ansiosta helpompi ja luotettavampi määrittäminen. Tämän työn keskimääräiseen "puutosrajaan" 30 mg/kg ovat päätyneet myös GERATH ym. (1975). Astiakokeiden perusteella määritetty vaihteluväli 22-38 mg/kg näyttää työn kenttäkokeidenkin mukaan riittävältä. Nuorissa, nopeasti kasvavissa lehdissä boorin tarve näyttää olevan vaihteluvälin alapäässä ja vanhoissa tai hitaasti kasvavissa lehdissä sen yläpäässä. Vaikka rypsin sisäinen boorintarve voitiin määrittää tarkimmin varsien booripitoisuuden perusteella, ei tätä astiakokeiden tulosta voida ilman muuta soveltaa käytäntöön. Pienimmän riittävän booripitoisuuden ahtaiden rajojen hyödyntämiseksi tulisi vielä selvittää varsien ja niiden eri osien booripitoisuuden vaihtelua kasvukauden aikana ja myös kenttäolosuhteissa optimaalista niukemmalla booritasolla.

Kasvin kvantitatiivinen boorintarve on sen riittävän booripitoisuuden ja sadon tulo. Tarkemmassa selvityksessä kokonaistarve on tapana laskea kasvin eri osien summana. Rypsin siementen booripitoisuus on kenttäkokeissa ollut 14 ± 2 mg/kg (= g/t). Varsien booripitoisuus oli Jokioisten hiesavella vuonna 1983 boorilannoituksesta riippumatta 20 ± 2 mg/kg. Kun rypsin varsisato on kaksinkertainen



Kuva 26. Rypsin siemensadon riippuvuus siementen booripitoisuudesta.

siemensatoon verrattuna, sisältävät varret booria noin kolme kertaa niin paljon kuin siemenet. Kun lehtien boorintarpeena pidetään 42 mg/kg ja lehtisadoksi arvioidaan kolmannes siemensadosta, saadaan rypsin lehtien boorintarpeeksi siementen boorintarve.

Öljykasvien koko maanpäällisen osan boorintarpeeksi saadaan esitetyillä perusteilla yhtä siemensadon tonnia kohti $(1 + 3 + 1) \times 14 \pm 2 = 70 \pm 10$ g. Laskelmasta puuttuu juuriston osuus ja lehtien määrä saattaa olla todellista pienempi, mutta toisaalta lehdet varisevat maahan osittain jo ennen kuin siementen kasvu alkaa ja ennen sadonkorjuuta kokonaan. Käytännön viljelmien keskimääräisellä sato-tasolla 1500 kg/ha öljykasvien boorintarve on noin 100 g/ha. Korkeammalla sato-tasolla tarve on vastaavasti suurempi (taulukko 35). Siemenien mukana huippusa-doissakin poistuva boorimäärä on melko vähäinen. Vaikka myös varret korjattaisiin esim. polttoaineeksi, palautuisi huomattava osa otetusta boorista kuitenkin maahan.

Taulukko 35. Öljykasvisatojen tarvitsema boorimäärä, g/ha.

| Satotaso kg/ha | Kokonaistarve | Siemenet + varret ^x | Siemenet |
|----------------|---------------|--------------------------------|----------|
| 1000 | 70 | 42 | 14 |
| 1500 | 105 | 63 | 21 |
| 2000 | 140 | 84 | 28 |
| 2500 | 175 | 105 | 35 |
| 3000 | 210 | 126 | 42 |

x Leikkuupuidut varret ilman sänkeä ja ruumenia

2. Boorin tarve maassa öljykasveilla

Kasvin boorintarpeen tyydyttäminen edellyttää tiettyä ulkoista booritilaa. Yleisesti käytetty nimitys maan boorintarve on siten jossain määrin perusteltu, vaikka booria tarvitsevat kasvit eikä maa. Valittu kielellisesti huonompi väliotsikko määrittelee tämän käsitteen kuitenkin tarkemmin.

Maan booritestausta -kokeessa maan kuumavesiliukoinen boori osoitti siemensadon muodostumisen regressioyhtälön selvitysasteen perusteella (taulukko 36) suunnitteen yhtä tarkasti kuin edellä tarkasteltu lehtien booripitoisuus (taulukko 34). Otettaessa huomioon myös maan pH-luku nousevat maa-analyysien selvitysasteet kasvianalyysien selvitysasteita paremmiksi. Parasta lukua (0,83) vastaava yhteiskorrelaatiokerroin on 0,91. Tulosta voitaneen pitää sadon funktiona maan ravinnetilan suhteen yleensäkin erittäin hyvänä ja hivenravinteilla vastaavat tulokset lienevät harvinaisia. HADDAD ja KALDOR (1982) ovat saaneet mailasen sadon ja maan boorin välille kiinteämmän riippuvuuden, mutta sadot olivat useiden maiden eri alkuperää edustavia keskiarvoja.

Maa-analyysi selitti rypsin siemensatoa regressioyhtälöiden selvitysasteiden mukaan sitä tarkemmin, mitä vanhentuneempi boorimääritys oli (taulukko 36). Tämä epäjohdonmukaisuus johtui maan boorilukujen erojen supistumisesta kokeen aikana ja x-akselin suuntaisen vaihtelun supistumisesta (kuvat 27-29) samaan tapaan kuin varsien booripitoisuuden ollessa riippumattomana muuttujana (kuva 23). Graafisen tarkastelun mukaan ennen kyseisen sadon kylvöä vallinnut booritila on osoittanut siemensadon määrän vähintään yhtä tarkasti kuin vanhempi määritys (kuvat 27 ja 28).

Taulukko 36. Rypsin siemensadon riippuvuus maan booritulasta.

| Riippuva muuttuja | | Riippumattomat muuttujat ja niiden kertoimet luotettavuusrajoineen (5 %) | | | | Selvitysaste |
|----------------------|---|--|------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|
| Sato 1981 g/astia | = | 94,5 B1 ± 52,0 | -43,8 (B1) ² ±36,3 | -18,5 ±16,5 | | R ² = 0,63 |
| " | = | 95,2 B1 ± 40,0 | -50,8 (B1) ² ±28,1 | + 6,9 pH ± 3,2 | -53,9 ±20,6 | R ² = 0,79 |
| " | = | 195,4 B2 ±129,1 | -132,5 (B2) ² ±115,5 | -39,9 ±33,0 | | R ² = 0,54 |
| " | = | 208,3 B2 ±100,6 | -159,4 (B2) ² ± 90,6 | +7,6 pH ±3,6 | -81,2 ±32,2 | R ² = 0,73 |
| Sato 1982 g/astia | = | 10,6 (B1) ² ± 4,3 | +4,8 pH ±2,0 | +0,078 S-% ±0,075 | -22,3 ±10,4 | R ² = 0,83 |

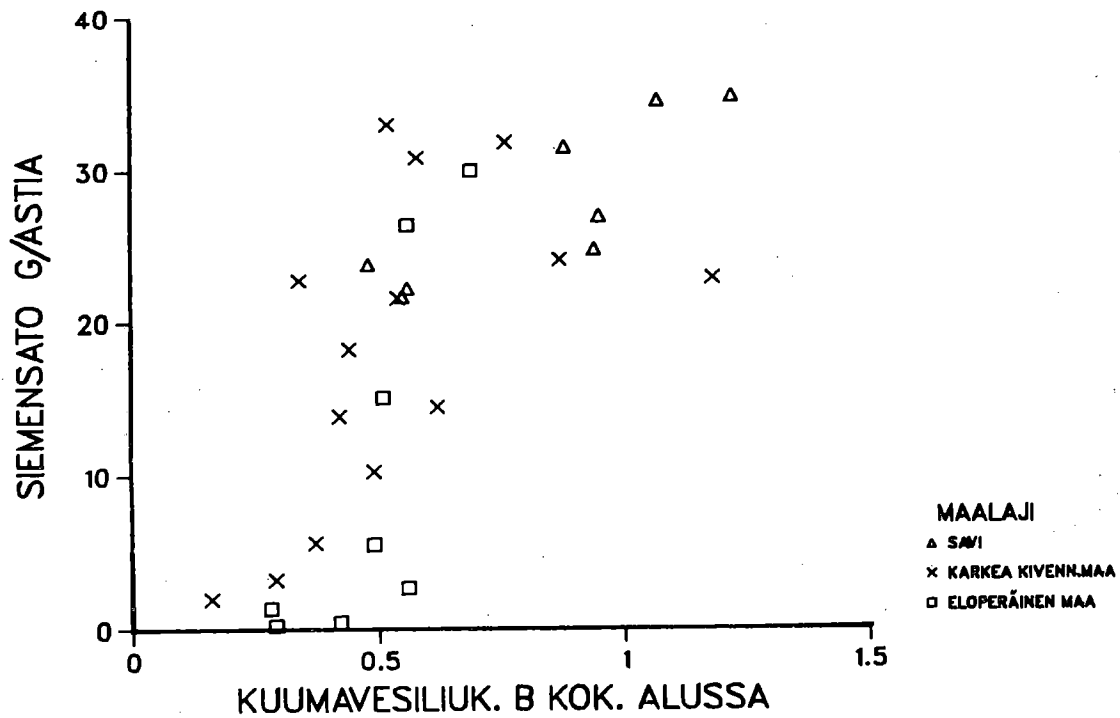
B1 = maan kuumavesiliukoinen boori kokeen alussa, mg/l

B2 = maan kuumavesiliukoinen boori syksyllä 1980, mg/l

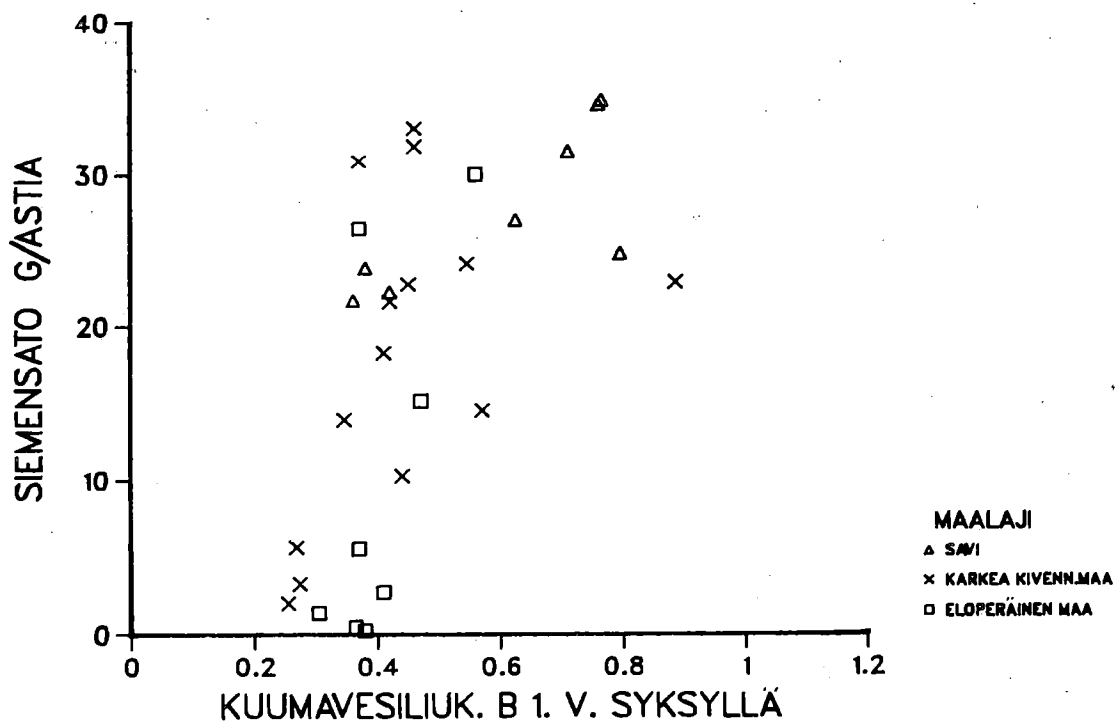
S-% = maan saves-%

Maan kuumavesiliukoisen boorin ollessa niukempi kuin 0,3 mg/l siemeniä muodostui erittäin heikosti (kuvat 28 ja 29). Maan booriluvun ollessa 0,4 mg/l siemensato vaihteli nolasta täyteen satoon. Tällainen suuri sadon vaihtelu tietyllä kriittisellä ravinnetasolla on satofunktioille tyypillistä. Se ei osoita ravinnetilan määrityksen heikkoutta niin kuin ravinteiden oton tai pitoisuuden vastaava vaihtelu. Pienin suurimman siemensadon tuottava maan booripitoisuus vaihteli maan booritestaus-kokeessa yleensä välillä 0,4-0,6 mg/l (kuvat 28 ja 29).

Tilastollinen riippuvuus ei osoita muuttujien välistä syy-yhteyttä. Tässä tapauksessa boorin merkitys oli harvinaisen selvä ja riittävän varma ehkä muutenkin, mutta kuvan 50 tulokset poistavat epäilyt muiden maan ominaisuuksien merkittävästä vaikutuksesta täysin, kun boorilannoitus kokonaan hävitti rypsin siemensadon riippuvuuden maan boorista.

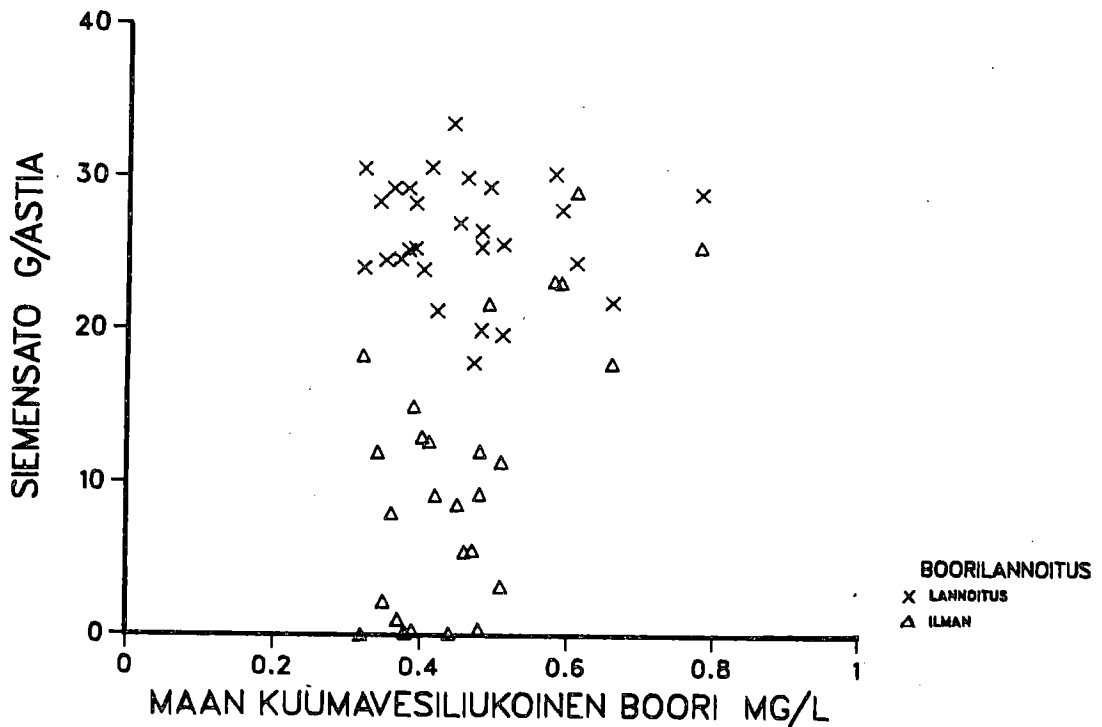


Kuva 27. Rypsin toisen vuoden siemensadon riippuvuus kokeen alussa määritetystä maan booritulasta.



Kuva 28. Rypsin toisen vuoden siemensadon riippuvuus edellisenä syksynä määritetystä maan booritulasta.

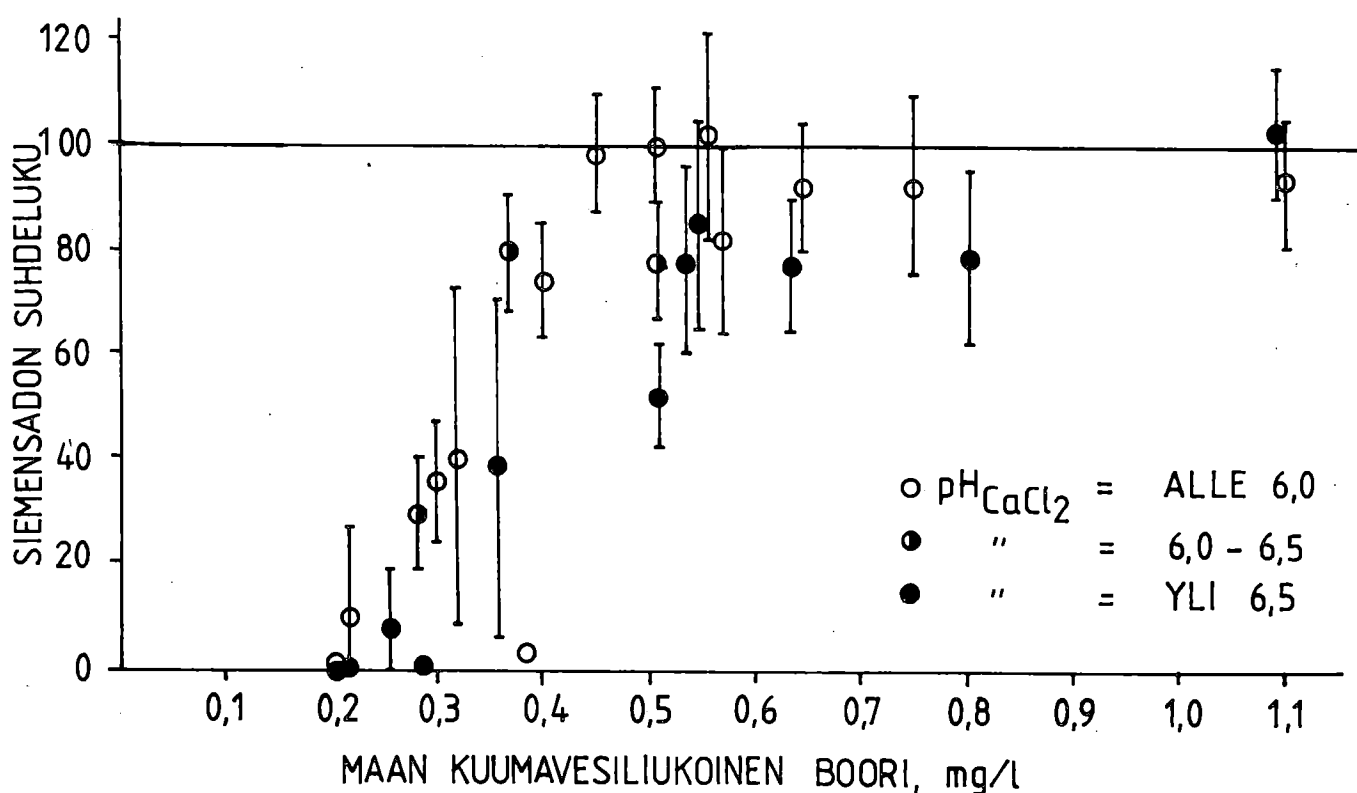
Täyden siemensadon tuottamiseen ilman boorilannoitusta tarvittava booritila voidaan määrittää tarkimmin suhteellisten satojen perusteella. Eri astiakokeiden satojen yhteenvedon mukaan (kuva 51) kuumavesiliukoisen boorin "puutosraja" on happamilla mailla välillä 0,45-0,65 (eli hiukan korkeammalla kuin maan booritestaus -kokeessa) ja runsaasti kalkituilla mailla 0,2-0,3 mg/l korkeammalla. Kalkituksen vaikutus oli päinvastainen kuin pH:n vaikutus maan booritestaus -kokeessa, jossa pH:n nousu yhdellä yksiköllä vastasi kuumavesiliukoisen boorin lisäystä siemensadon mukaan 0,07 mg/l ja boorin oton mukaan 0,13 mg/l.



Kuva 29. Rypsin siemensadon riippuvuus maan booritulasta ilman boorilannoitusta ja boorilannoituksen kanssa.

Kalkituksen erisuuntainen vaikutus eri kokeissa näyttää epäilemättä ristiriitaiselta, mutta on kuitenkin selitettävissä. Kasvien boorinottoa tarkasteltaessa todettiin, että vain maanesteeseen liuennut boori on välittömästi käyttökelpoista. Tehostamalla boorin pidättymistä maan kiinteään ainekseen kalkitus hidastaa sekä boorin siirtymistä kasviin että boorin huuhtoutumista ja siten kartuttaa maan boorivaroja. Kalkituksen pidättämästä boorista näyttää vapautuvan pitkän ajan kuluessa suurempi osuus kuin lyhytaikaisissa uutoissa, jotka siten aliarvioivat kalkituista maista ryöstettävissä olevan boorin määrän. Täyden siemensadon muodostumiseen tarvittavaa kuumavesiliukoisen boorin pitoisuutta korkea pH ei välttämättä vähentänyt maan booritestaus -kokeessakaan, vaikka regressioyhtälöissä vastaavat kertoimet ovatkin positiivisia alle 0,1 %:n riskillä (taulukko 36). Suhteellisten siemensatojen mukaan (kuva 30) kalkitus lisäsi boorilannoitustarvetta selvästi vain pH:n noustessa lähelle neutraalia ei tuntuvasti maan booritestaus -kokeen pH-tasoa korkeammaksi.

Tämän työn astiakokeiden mukaan kuumavesiliukoisen boorin tarve on eri maalajeissa samalla tasolla. Joidenkin tutkijoiden mukaan "puutosraja" on kuitenkin sa-



Kuva 30. Ilman boorilannoitusta astiakokeissa saadun rypsin siemensadon suhdeluvun (B-lannoituksella saatu sato = 100) riippuvuus maan booritilasta.

vimailta ylempänä kuin karkeammilla mailla (mm. JUEL 1980, SHORROCKS 1982). Jälkimmäinen on esittänyt raja-arvoiksi jäykille savimaille 0,8 mg B/l, keski-karkeille maille 0,5 mg B/l ja hiekkamaille 0,3 mg B/l. Suomen maalajeilla ei näytä olevan näin suuria eroja. Ilmeisesti suomalaisten maiden runsaasti sisältämä orgaaninen aines tasoittaa kivennäisosasta johtuvia maan kemiallisia ominaisuuksia melko tehokkaasti.

Kenttäolosuhteissa maalajien erot saattavat olla erilaiset kuin astiakokeissa, joissa aluksi pidättyneen mutta tehokkaan boorinoton myötä vapautuvan boorin merkitys korostuu. Astiakokeet saattavat painottaa siten liikaa ravinnemäärää (kapasiteettia), joka yleensä on runsaampi hienojakoisissa maissa. Boorin saannin hyvin lyhyellä aikavälillä määrää lähinnä maanesteen booripitoisuus (intensiiviteetti), joka ei laske kasvin boorinoton takia kenttäolosuhteissa yhtä nopeasti kuin astiakokeissa. Maanesteen booripitoisuus ei riipu kovin kiinteästi maan kuumavesiliukoisesta boorista (mm. ELSEEWI ja ELMALKY 1979).

Maalaji ja kalkkitila näyttävät vaikuttavan "maan boorintarpeeseen" ylivoimaisesti enemmän kuin muut maan ominaisuudet. Runsas kalium on joissakin olosuhteissa lisännyt boorin ottoa, mutta kaliumin vaikutus boorinottoon saattaa olla välillistä ja johtua kalsiumin otton vähenemisestä (REEVE ja SHIVE 1944). Typpitaso vaikuttaa satotasoon ja siten välillisesti sadon kvantitatiiviseen boorintarpeeseen. Ammoniumsuolat lievittävät boorinpuutosta ilmeisesti fysiologisen happamuutensa ansiosta (JAMALAINEN 1949, MAURUA ym. 1977, HEMPHILL ym. 1982). Lannoitustarpeeseen vaikuttavaa välitöntä fysiologista vuorosuhdetta typpellä ja boorilla ei näytä olevan.

GERATHin ym. (1975) astiakokeissa maan kuumavesiliukoisen boorin tarve on ollut syysrapsilla jonkin verran alhaisempi kuin tässä työssä kevätrypsillä, vaikka keskieuropalaisten karkeiden maiden huomattavasti yli yhden (kg/l) oleva tilavuuspainokin otetaan huomioon. Astiakokeiden tulokset eivät ole suoraan käytäntöön sovellettavissa, koska niiden voimaperäinen viljely saattaa aiheuttaa ravinteiden puutoksen sellaisissakin tapauksissa, jolloin kentällä ei ole puutetta (mm. JAAKKOLA 1978). Toisaalta kenttäolosuhteissa esiintyvä kuivuus voinee johtaa boorin puutteeseen, vaikka samalla maalla ei puutosta astiakokeessa todettaisikaan. Boorin puutteen esiintyminen voimakkaampana kuivina kausina (esim. JOHANSSON ja NILSSON 1973) johtunee kasvien juurten toiminnan ja vedenoton painottumisesta syvempiin maakerroksiin, joissa booritila on huonompi kuin kyntökerroksessa (HOBBS ja BERTRAMSON 1949). Koko juuristokerroksen pitäminen normaalina kuivempana ei näyttänyt lisäävän boorin tarvetta alustavissa astiakokeissa, joissa maan kosteus säädettiin automaattisesti painon mukaan.

Tämän työn kenttäkokeiden booritila oli astiakokeiden mukaan öljykasveille riittävällä tasolla, mutta Mietoisten hieta ja Kokemäen hiue sijoittuivat happamien maiden "puutosrajan" vaihteluvälin yläreunaan. Kenttäkokeista otetuilla mailla todettiin boorilannoitustarvetta vain Kokemäen hiukeella runsaan kalkituksen yhteydessä. Kenttä- ja astiakokeista ei analysoitu aivan samoja kasvin osia, mutta rypsin booripitoisuus näyttäisi jäävän kentällä toisinaan alhaisemmaksi kuin samalla maalla astiakokeissa. Vaikka kenttäkokeiden antama informaatio jäi yksipuoliseksi, näyttäisi boorin tarve maassa olevan kentällä suunnilleen samalla tasolla kuin astiakokeissa. Kuivat kaudet saattavat lisätä boorin tarpeen kenttäkokeissa jopa suuremmaksi kuin astiakokeissa.

"Boorittomassa" lannoitteessa epäpuhtautena olleella boorilla saattoi olla merkittävä osuus siihen, että boorilannoitustarve ei tullut kenttäkokeissa selvemmin esiin. Boorikäyhällä turpeella yksi milligramma booria lisäsi rypsin siemensatoa 18,8 grammaa. Samalla tehokkuudella 60 grammaa booria (600 kg NPK, 0,01 % B) lisäisi satoa 1130 kiloa. Boorilannoituksen 4 mg B/astia jälkivaikutus siemensatoon hietasavella vastasi 210 kg/60 g B. Norjassa boorilannoitus 60 g B/ha/v on vähentänyt lantun ruskotautia muutaman vuoden jälkeen selvästi (ØDELIEN 1963).

Boorin tarve maassa on ollut samalla tasolla kuin tässä työssä myös rapsilla Saksan Liittotasavallassa (TEUTEBERG 1978) ja Tanskassa (JUEL 1980). Saksan Demokraattisessa tasavallassa syysrapsille on riittänyt karkeilla mailla alhaisempi booritaso (GERATH ym. 1975). Ruotsissa syysöljykasveilla näyttää tarvitun kuivana vuonna hiukan parempi booritila (JOHANSSON ja NILSSON 1973), mutta joissakin kokeissa huonompikin booritila on riittänyt (CEDELL 1982).

Kvantitatiivisesti työssä määritettyä boorin tarvetta maassa, 0,45-0,65 mg/l, vastaa 23 senttimetrin kerroksessa 1,0-1,5 kg booria hehtaarilla kerrottaessa analyysitulokset suoraan maan tilavuudella. Selvitettäessä boorin pidättymistä maahan todettiin kuitenkin vain noin kolmanneksen lisätystä boorista ilmenevän kuumavesiliukoisen boorin määrityksessä. Otettaessa tämä pidättyminen huomioon boorin tarpeeksi kyntökerroksessa saadaan 3,0-4,5 kg/ha. Runsaasti kalkituilla mailla vastaava tarve on noin kolmannesta suurempi eli noin 4-6 kg/ha.

3. Öljykasvien boorilannoitussuositukset

Maa-analyysi on boorin tarpeen määrittämisen mukaan öljykasvien boorilannoitustarpeen arvioinnissa selvästi käyttökelpoisempi kuin kasvianalyysi. Booritila voitaneen arvioida maa-analyysin perusteella ennen kylvöä jokseenkin yhtä tarkasti

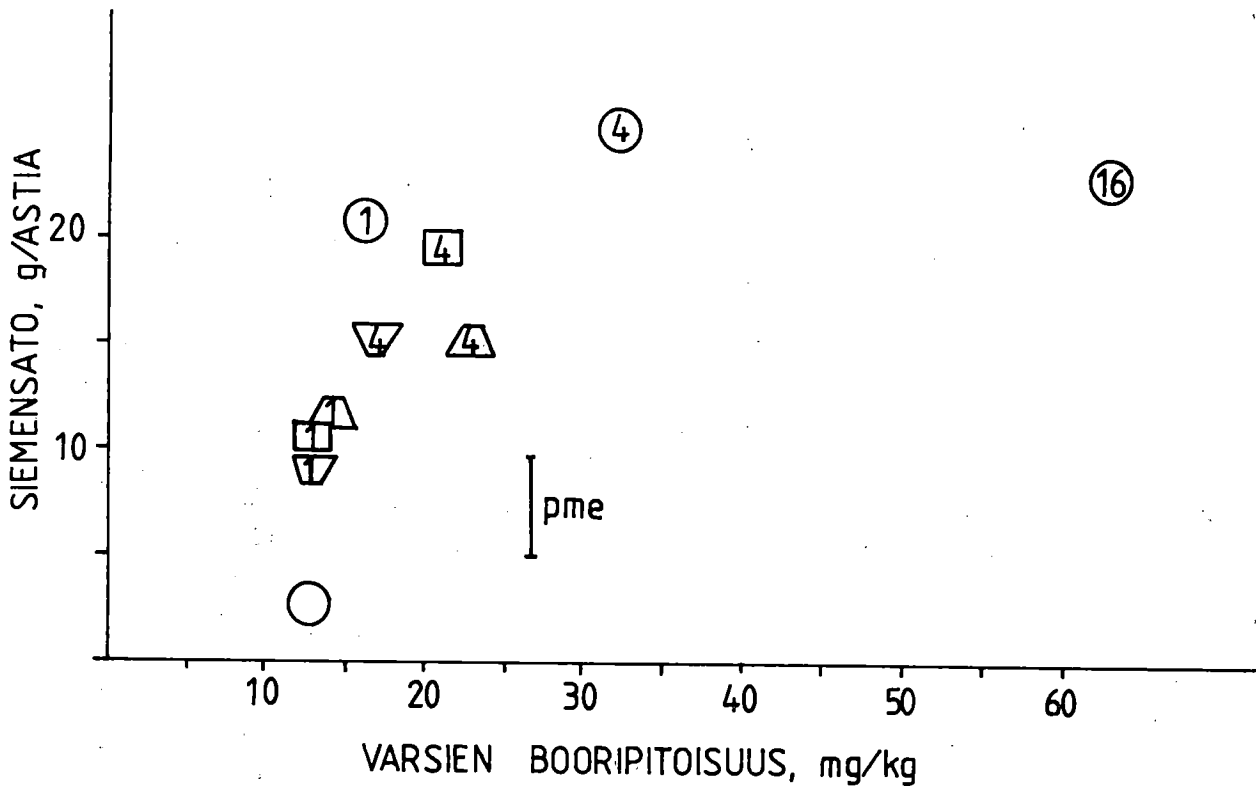
kuin kasvianalyysin avulla myöhemmin.

Jotkut tutkijat pitävät kasvianalyysiä maa-analyysiä luotettavampana, mm. BIRCH ym. (1981) Etelä-Afrikassa auringonkukalla. SILLANPÄÄN (1982) kansainvälisessä tutkimuksessa maan kuumavesiliukoinen boori ei osoittanut vehnän boorin saantia lainkaan mm. 163 tansanialaisesta maanäytteestä, mutta suomalaisilla kuten useimilla muillakin mailla menetelmä oli suhteellisen hyvä. Ohran boorilannoitustarpeen kuumavesiliukoinen boori osoittaa SIMOJOEN (1972) mukaan vain suuntaa antavasti, mutta sama menetelmä saattaa olla öljykasveilla käyttökelpoisempi kuin ohralla, sillä ohralle riittävällä alhaisella booritasolla tulosta huonontanee mm. suhteellinen määritysvirhe enemmän kuin öljykasvien tarvitsemalla booritasolla.

Todettaessa lannoitustarve puutosoireiden tai kasvianalyysin perusteella on puutoksen korjaaminen jo myöhässä. Koska boori liikkuu kasvissa hyvin vaikeasti, on sen ruiskuttaminen kasvustolle ilmeisesti melko tehoton lannoitusmenetelmä. Rypsikasvustolle ruiskutettu boori lisäsi astiakokeessa siemensatoa noin puolta huonommin kuin maahan sekoitettu boori (kuva 31). Rypsilille ruiskutettu boori jäi pääosin lehtiin, jolloin varsien booripitoisuus nousi vain hiukan (taulukko 23, s. 62). Ilmeisesti myös kasvustoon ruiskutettu boori siirtyy kasviin osittain maan kautta, mikä siemensadon kannalta saattaa olla tärkein kulkutie. Kun boorin myrkyllisyys rajoittaa käytettävää boorimäärää, näyttää kasvustoruiskutuksella olevan mahdollista tyydyttää vain osa boorintarpeesta. CHANDLERIN (1941) päinvastaiset tulokset koskevat Brassica-lajien vegetatiivista kasvua, eivätkä näytä pätevän siementuotannossa.

Vaikka lannoitteen sijoittaminen kylvölannoituksessa on jo vuosia sitten omaksuttu käytäntöön, perustuvat käytössä olevat boorilannoitussuositukset kokonaan vanhoihin kokeisiin, joissa boori on annettu erikseen jollakin muulla menetelmällä. Koejärjestelyt ovat lisäksi usein olleet sellaiset, että tulokset eivät osoita tarvittavaa boorimäärää, vaikka boorilannoituksella olisi ollutkin vaikutusta. Etelä-Savon koeaseman hietamaalla 0,8 kg B/ha riitti huutavassa boorilannoitustarpeessa olevalle keltasinapille (KOSKINEN 1952). Sydänmädän vaivaamalle sokerijuurikkaalle on riittänyt 2,1 kg B/ha (BRUMMER 1965). Voimakkaasti kalkituilla sokerijuurikasmaille keväinen boorilannoitus 1,4-2,1 kg/ha ei JAMALAISEN (1968) mukaan yleensä riitä torjumaan sydänmätää. Viljavuustutkimuksessa muille kuin juurikasveille suositellaan booria 0,6-1,6 kg/ha maan kuumavesiliukoisen boorin ollessa alle 1,2 mg/l (KURKI 1981).

Rypsin yhden vuoden tarvetta vastaava boorimäärä näytti astiakokeissa aina riit-



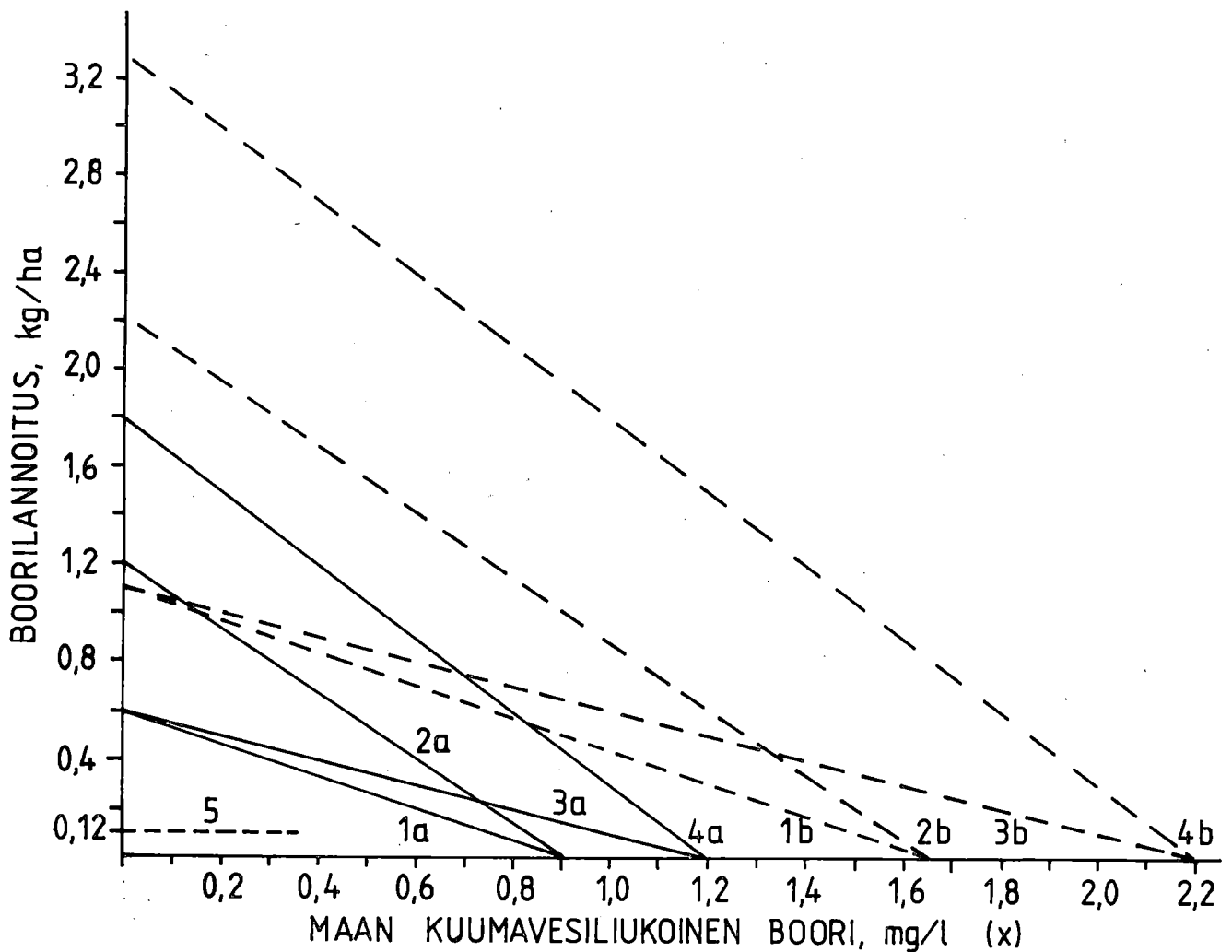
Kuva 31. Rypsin siemensadon riippuvuus varsien booripitoisuudesta.

- = ilman boorilannoitusta
- ① = 1 mg B/astia sekoitettu maahan
- ④ = 4 " " "
- ⑬ = 16 " " "
- 1 = 1 " ruiskutettu taimille
- 4 = 4 " " "
- △1 = 1 " " alalehdille
- △4 = 4 " " "
- ▽1 = 1 " " ylälehdille
- ▽4 = 4 " " "

Neljä viimeistä käsittelyä kukinnan aikana

tävän täyteen siemensatoon lannoitusvuonna, kun boorin näennäinen hyväksikäyttö nousi jopa yli viidenkymmenen prosentin eikä maa koskaan ole täysin booriton. Liiallinen pidättyminen maahan ei näytä suurentavan tarvittavaa boorimäärää läheskään yhtä selvästi kuin maksimisatoon tarvittavaa fosforimäärää, joka on ollut astiakokeissakin moninkertainen kasvin tarpeeseen verrattuna. Astiakokeet eivät sovellu tarvittavan lannoitustason suoraan kokeelliseen määrittämiseen, mutta niiden tulokset osoittavat juuristokerrokseen äskettäin sijoitetun boorin hyväksikäytön olevan tehokasta.

Arvioitu öljykasvien lannoitustarve esitetään kuvassa 32. Tarvittavien boorimäärien arviot ovat verrattain subjektiivisia. Lannoitustarve on puolitoistakertai-



Kuva 32. Öljykasvien boorilannoitus maan kuumavesiliukoisen boorin perusteella. Lannoitustarve (a) ja suurin annos (b). Sijoituslannoituksessa boorin tarve (kg/ha) on savimailla $0,6 - 0,5 x$ (3a) ja muilla mailla $0,6 - 0,67 x$ (1a). Hajalevityksessä tarve on savimailla kolminkertainen (4a) ja muilla mailla kaksinkertainen (2a). Sallittu tarpeen ylitys on sijoituksessa $0,5 \text{ kg/ha}$ (3b savet, 1b muut) ja hajalevityksessä savimailla $1,5 \text{ kg/ha}$ (4b) ja muilla mailla $1,0 \text{ kg/ha}$ (2b). Maan pH-luvun ylittäessä 6,8 (pH CaCl_2 6,2) lannoitus on $0,2 \text{ mg/l}$ huonomman booritilan mukainen. Öljykasvit ottavat booria noin $0,12 \text{ kg/ha}$ (5).

nen riittäväksi arvioituun boorimäärään verrattuna. Samaa varmuuskerrointa on käytetty myös maan liukoisen boorin suhteen. Todennäköistä tarvetta hiukan runsaampaa boorilannoitusta tarvittaneen mm. kuivien vuosien varalta ja maan booritilan näytealojen sisäisen horisontaalisen vaihtelun takia.

Savimailla hajalevitykseen esitettävät boorimäärät (kuva 32) ovat samalla tasolla kuin viljavuustutkimuksen suositukset muille kuin juurikasveille (KURKI 1981). Muita maita suurempi kuumavesiliukoisen boorin tarve perustuu savien tehokkaampaan boorinpidätyskykyyn, jonka takia maanesteen booripitoisuus on samalla boori-

ritasolla savimaissa alhaisempi kuin muissa maissa (esim. WEAR ja PATTERSON 1962). Tähän samaan intensiteetti-kapasiteettisuhteeseen perustuu myös maan korkean pH-luvun vaikutus boorintarpeeseen. Booria tehokkaasti pidättävillä mail- la booritila saattaa olla jankossa erittäin huono (esim. Jokioisten aitosavi, taulukko 19, s. 49). Tällaisilla mail- la kyntökerroksen booripitoisuuden tulee olla korkea, jos syvempienkin kerrosten booritilaa halutaan vähitellen parantaa boorin saannin turvaamiseksi kuivina kausina (esim. HOBBS ja BERTRAMSON 1949).

Lannoitteen sijoittamisen vaikutusta boorin hyväksikäyttöön selvittäviä koetu- loksia on käytettävissä melko niukasti, mutta koska boorin sijoittaminen on vai- kuttanut hyvin samalla tavalla kaikissa kokeissa (rypsin lehtien booripitoisuus, taulukko 21, s. 61, PETERSON ja MACGREGOR 1966, GUPTA ja CUTCLIFFE 1978, GUPTA 1979b), ne ovat suhteellisen luotettava peruste boorilannoitustarpeen arvioinnil- le. Sijoituslannoitukseen esitettävät boorimäärät (kuva 32) ovat savimailla kolmannes ja muilla mail- la puolet hajalevitykseen esitettävistä määristä.

Sijoittamisen vaikutus on ilmeisesti sitä suurempi, mitä aikaisemmin kasvukaudel- la booria tarvitaan. Rypsilä boorin tarve on suurimmillaan kesäkuussa ja heinä- kuun alussa eli paljon aikaisemmin kuin esim. sokerijuurikkaalla. Kuivina kevät- kesinä pienikin boorimäärä näyttää riittävän sijoitettuna etenkin savimailla varmemmin kuin kolme kertaa niin suuri boorimäärä pintaan levitettynä ja mata- laan mullattuna. Öljykasvien boorinottoon verrattuna sijoitukseen suositellut määrät ovat booritilaltaan huonoimmilla mail- la noin nelinkertaiset ja keskin- kertaisilla mail- la noin kaksinkertaiset.

Moniravinteisia lannoitteita käytettäessä täsmällisesti arvioidun tarpeen mu- kainen lannoitus ei ole yleensä mahdollista. Sijoituslannoituksessa suhteelli- sen turvalliseksi boorin ylimääräksi on arvioitu puoli kiloa hehtaarille, mutta hajalevityksessä ylitys saa olla 2-3-kertainen (kuva 32). Kaikkein heikoimmin booria pidättävillä mail- la (karkealla hiedalla, hiekalla ja vastaavilla moree- neilla) saattaa kuvassa 32 sallittu noin kaksi kiloa booria hehtaarille olla ha- jalevityksessäkin liikaa (mm. WOODRUFF 1979).

Suuri sato tarvitsee booria enemmän kuin pieni sato. Hivenlannoitustarve ei kui- tenkaan riipu kasvin todellisesta tarpeesta samalla tavalla kuin esimerkiksi typpilannoitustarve. Käyttökelpoista typpeä maassa on ennen lannoitusta tavalli- sesti hyvin pieni osa kasvin tarpeesta, mutta pidäntynyt lannoitebooria vas- taavan boorin määrä on keskimäärin noin kolmekymmentä kertaa niin suuri kuin öljykasvien yhden vuoden tarve. Runsaan sadon edellytyksenä oleva hyvinkehittynt

juuristo edistää maan ravinnevarojen hyödyntämistä ja suuri sato saa passiivisesti haihduttamansa suuren vesimäärän mukana enemmän booria kuin pieni sato. Kun saavutettava satotaso on lannoitusta suunniteltaessa vielä tuntematon, ei sadon suuruus näytä olevan tärkeä boorilannoitustarpeen arviointiperuste.

Hajalevityksessä öljykasvien boorilannoitustarve on booritaltaan parhaita maita lukunnottamatta niin suuri (kuva 32), että booria pidättävien maiden booritila paranee vastaavalla lannoituksella melko nopeasti. Yksi kilo booria hehtaarille näyttää lisäävän maan kuumavesiliukoista booria noin 0,1 mg/l (taulukko 19, s. 49). Kokemäen hiukeella varastolannoituksen vaikutus oli kolmen vuoden kuluttua kuitenkin noin puolta pienempi. Myös näiden tietojen mukaan boorilannoituksesta on huolehdittava vuosittain niin kuin on suositeltu (mm. JAAKKOLA 1978, JOKINEN ja LARPES 1978), mutta lannoitustarve näyttää vähenevän muuttamassa vuodessa selvästi. Booritilan ollessa niin hyvä, ettei boorilannoitus ole tarpeellinen, öljykasvien otto on noin yksi prosentti maan käyttökelpoisista boorivaroista. Yhden vuoden siemensato ryöstää maan boorista tällöin noin 0,3 %.

VII TARKASTELU

Se boorin erikoisuus kasvinravinteena, ettei kasvifysiologian perustutkimus ole pystynyt selvittämään boorin vaikutusmekanismia kasveissa, ei haittaa lannoitustarpeen arviointia eikä estä boorilannoituksen oikeaa suorittamista. Ylimääräisen boorin kertyminen lehtiin haitallisina määrinä tunnetaan hyvin, ja boorin tiedetään estävän siementen itämistä, mutta suuren boorikonsentraation suorasta vaikutuksesta kasvien juuristoon on niukasti tietoa. Booripitoisen lannoitteen (0,2 % = 2000 mg/kg) läheisyydessä maanesteen booripitoisuus nousee aika korkeaksi eikä MORTVEDTin ja OSBORNin (1965) havaitsema juurten kasvun hidastuminen vaikuta mahdottomalta.

Tämän työn kenttäkokeissa todettu sijoitetun lannoitteen boorin aiheuttama rypsin lehtien kalsiumpitoisuuden pieneneminen ja siemensadon väheneminen eivät näyttäisi johtuneen ainakaan pelkästään lehtien myrkyttymisestä, sillä niissä ei huomattu selviä oireita. Tehtyjen havaintojen perusteella lannoitteen booripitoisuus ei vaikuttanut juurten kasvuun, mutta aivan pieniä eroja ei ole maasta kaivettuja juuria suoraan tarkkailemalla helppo todetakaan. Kun kasvien juuristo normaalisti kasvaa lannoiterivien kohdalla tiheämmäksi kuin muualla maassa (ELONEN 1980), olisi boorin aiheuttama lannoiterivien karttaminen ilmeisesti erittäin haitallista. Pesäkkeittäin korkean maan booripitoisuuden merkityksen selvittämiseksi tarvittaisiin jatkotutkimuksia.

Kalkituksen ja boorilannoituksen yhdysvaikutus rypsin taimien booripitoisuuteen astiakokeissa sekä boorilannoituksen heikko jälkivaikutus rypsin lehtiin kenttäkokeissa, vaikka maan booritilassa todettiin selvä tason nousu, viittaavat osittain aktiiviseen boorinottoon. Pääosa boorin otosta lienee kuitenkin passiivista. Aktiivisesta otosta tai rajoitetusta läpäisevyydestä johtuvan kasvin vaikutuksen laskemiseksi tulisi tuntea kasviin siirtyneen boorin määrän lisäksi maanesteen konsentraatio ja haihdutettu vesimäärä.

Mikäli boorin otto olisi pelkästään passiivista, voitaisiin sen perusteella arvioida myös maasta huuhtoutuvan boorin määrää, joka olisi boorin otto kerrottuna juuristokerroksesta syvemmälle valuvan vesimäärän ja kasvien haihduttaman vesimäärän osamäärällä - edellyttäen, että maanesteen booripitoisuus on vakio. Salaojien kautta on valunut vettä Jokioisten savimaalla vuosittain 65-223 mm (JAAKOLA 1981). Jos rypsi haihduttaa kasvukauden aikana vettä 250 mm (kuiva-ainetta 5 t/ha, haihtumiskerroin 500), on salaojista valunut vesimäärä 25-90 % rypsin haihduttamasta vesimäärästä. Näillä perusteilla boorin ottoa 110 g/ha. vastaava huuhtoutuminen olisi noin 30-100 g/ha.

Kasvin mahdollinen aktiivinen boorinotto vähentäisi, mutta juurten huono läpäisevyys ja boorin huuhtoutuminen kasveista lisääisivät huuhtoutumista näin lasketusta. Maanesteen booripitoisuus vaihtelee ajallisesti ja eri syvyyksissä. Huuhtoutumisen tapahtuessa maaneste on keskimääräistä laimeampaa, mutta booria pidättävän ja luovuttavan maa-aineksen takia laimeneminen on vähäisempi kuin maanesteen tilavuuden muutos (mm. JAME 1982). Huuhtoutuminen on voimakkainta maan pinnassa, jonka läpi myös kasvin haihduttama vesi vajoaa. Kyntökerroksen alapuolella booripitoisuus näyttää olevan ainakin savimaissa alhainen, ja suurin osa kyntökerroksesta huuhtoutuneesta boorista pidättynee sen alle kasvin juurten ulottuville. Salaojiin tai pohjaveteen joutuva boorimäärä lienee ainakin savimailla vähäinen. Huuhtoutuneen boorin määrä on ollut Tanskassa keskimäärin noin 30 g/ha (JENSEN 1974) ja puolalaisissa lysimetrikokeissa noin 10 g/ha (RUSZKOWSKA ym. 1977).

Pitkällä tähtäyksellä huuhtoutuminen vaikuttaa epäilemättä boorilannoitustarpeeseen. Savespitoisilla mailla boorin voimakas pidättyminen maa-ainekseen näyttää lisäävän lannoitustarvetta kuitenkin enemmän kuin huuhtoutuminen jopa useiden vuosien aikavälillä. Boorin pidättymisen selvittäminen seuraamalla sen liikkumista maaprofiilissä kentällä on verrattain työlästä eikä sovellu siten suurten aineistojen tutkimiseen.

Alustavissa laboratoriokokeissa, joissa reagointiaika oli yksi vuorokausi, boori pidättyi suomalaisiin maihin heikosti. Kenttä- ja astiakokeissa todettu pidättyminen näyttää siten tapahtuneen hitaasti. Ilmeisesti reagointiajan tulisi olla

laboratoriokokeissakin muutamia viikkoja, mikäli boorin pidättymistä halutaan selvittää luotettavasti. Hitaan pidättymisen mekanisme ei tunneta, mutta diffundoituminen huokoisten hiukkasten sisään on eräs mahdollisuus. Pidättymismekanismieissa kuten maan boorissa yleensäkin on vielä paljon tutkimista. Kaikkein huonoimmin tunnettua näyttää olevan eloperäisten maiden boori.

Maan booritilan arvioinnissa yleisesti käytetty kuumavesiuutto näyttää olevan tulosten suhteen paras menetelmä. Keittämisen korvaaminen sopivalla uuttoliuoksella ei kuitenkaan liene mahdotonta. PRATHERin (1977) havaintojen mukaan piihappo saattaa uuttaa booria melko tehokkaasti huolimatta niukasta liukoisuudesta. Tämän boorihappoa ehkä läheisemmin muistuttavan aineen kokeilu boorin uutajana näyttäisi aiheelliselta.

VIII YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää öljykasvien boorilannoitustarvetta ja sen arviointia. Boorin tehtäviä kasveissa tarkasteltiin kirjallisuuden perusteella. Maan booritilan arviointia, lisätyn boorin pidättymistä maahan ja liikkumista maaprofiileissa, öljykasvien boorinottoa sekä boorin vaikutusta öljykasvien kasvuun ja siemensatoon tutkittiin astia- ja kenttäkokeilla.

Riittämätön boorin saanti aiheuttaa häiriöitä ensin niissä kasvin osissa, joissa solujen jakaantuminen ja kasvu on nopeinta, kuten verson ja juuren kasvupisteissä. Kukkien kehittymiseen ja hedelmöittymiseen booria tarvitaan enemmän kuin vegetatiiviseen kasvuun, ja siten boorin tarve on siemensatoja tuottaessa suurempi kuin muita kasvin osia tuottaessa. Boorin puutteessa solujen nukleiinihappo-, proteiini- ja hiilihydraattiainevaihdunta häiriintyvät, solujen hienorakenne muuttuu ja erilaistuminen tehtäviinsä estyy. Boorin vaikutusmekanismi on vielä pääosin tuntematon, mutta uusimpien tutkimusten mukaan boori näyttää vaikuttavan solun kalvojen toimintaan.

Maan booritilan arviointia tutkittiin astiakokeella 30 maalla vertaamalla maanalyytituloksia rypsin kahdessa vuodessa ottamaan boorimäärään. Yleinen kansainvälinen menetelmä, kuumavesiuutto, osoitti rypsin boorin saantia tyydyttävästi (selvitysaste $r^2 = 0,82$). Kun maan booritilan regressioyhtälöön otettiin toiseksi selittäväksi muuttujaksi maan pH-luku, selvitysasteeksi (R^2) saatiin 0,89. Laimealla kalsiumkloridilla uuttuva eli "kylmävesiliukoinen" boori ei osoittanut boorin saantia yhtä tarkasti, mutta yhdessä pH-luvun kanssa kuitenkin suhteellisen tyydyttävästi ($R^2 = 0,79$). Kylmän uuton huonomuus näytti johtuvan ainakin osittain analyttisistä vaikeuksista utteiden laimeuden suurentaessa

suhteellista määritysvirhettä.

Maahan lisätystä boorista pidättyi astiakokeissa kahdessa vuodessa vähintään puolet kuumaan veteen uuttumattomaksi. Pidättymistä tehostavan runsaan kalkituksen kanssa pidättyneen boorin osuus nousi jopa noin neljään viidesosaan. Lisätyn boorin liikkuvuus vaihteli kenttäkokeissa maalajeittain. Aitosavessa boori liikkui hyvin hitaasti eikä kyntökerroksesta jankkoon siirtymistä kolmen vuoden aikana havaittu. Hiuesavessa boori vajosi nopeammin kuin aitosavessa, mutta kalkitus hidasti vajoamista. Kolmessa vuodessa runsaasta kerta-annoksesta huomattava osa mutta vuotuislannoituksesta vain pieni osa näytti hiuesavessa painuneen jankkoon. Savisessa karkeassa hiedassa ja hiukeessa boori liikkui veden mukana nopeammin kuin savimaissa, mutta niissäkin suurin osa vuotuislannoituksena annetusta boorista näytti olleen kolmannen koevuoden syksyllä kyntökerroksessa.

Kasvien boorinotolle on ominaista passiivinen kulkeutuminen haihtumisvirtauksen mukana. Kasvit eivät pysty rajoittamaan ylimääräisen boorin ottoa ja kerääntymistä haihtumisvirtauksen päätepisteisiin myrkyllisiksi pitoisuuksiksi. Boori kulkeutuu hyvin vaikeasti haihtumisvirtausta vastaan lehdistä takaisin varteen. Astiakokeissa kalkitus hidasti rypsin boorinottoa voimakkaasti varsinkin taimivaiheessa. Kalkituksen aiheuttama taimien booripitoisuuden pieneneminen oli lineaarisessa suhteessa maan pH-luvun suurenemiseen. Boorin otto hidastui maan pH:n noustessa kaikilla mailla suunnilleen samalla tavalla, savimailla kuitenkin vähemmän kuin karkeilla mailla. Boorilannoitus vaikutti rypsin booripitoisuuteen happamalla hiedalla jopa kymmenen kertaa niin paljon kuin neutraalilla savella. Kenttäkokeissa kylvölannoituksessa sijoitettu boori suurensi rypsin lehtien booripitoisuutta lähes yhtä paljon kuin nelinkertainen boorimäärä hajalevitettynä.

Boorin puutos ei näyttänyt haittaavan rypsi- ja rapsilajikkeiden muiden ravinteiden ottoa astiakokeissa, vaikka eräiden uusimpien tutkimusten mukaan aktiivisessa ravinteidenotossa tarvitaan booria. Sijoitetun lannoitteen boori alensi kukkivan rypsin lehtien kalsiumpitoisuutta osassa tutkituista kasvustoista. Kasvua boorin puutos hidasti astiakokeissa jo taimivaiheessa. Ankarassa puutteessa runsaan kalkituksen yhteydessä rypsin taimet kuolivat turpeella ennen sirkka-lehtien kehittymistä täysikokoisiksi ja aitosavella vähän myöhemmässä vaiheessa. Havaittuja boorinpuutosoireita ovat varren pituuskasvun hidastuminen, varren halkeilu ja korkkiutumisen, nuorimpien lehtien kellastuminen rypsillä ja punertuminen rapsilla, kukkien ja litujen heikko kehitys sekä jälkikukinta. Liiallinen boori näkyi taimissa hidastuneena kasvuna ja likaisen kellertävänä värisä-

vynä, vanhemmissa lehdissä reunojen kellastumisena ja kuivettumisena sekä varsissa rentoutena ja mutkaisuutena.

Riittämätön boorin saanti esti siementen muodostumista astiakokeissa voimakkaasti. Maan kuumavesiliukoisen boorin ollessa alle 0,3 mg/l rypsi ei muodostanut siemeniä juuri lainkaan, vaikka varret ja lehdet kasvoivat tavallisesti lähes normaalin kokoisiksi. Täyteen siemensatoon ilman boorilannoitusta tarvittava maan booripitoisuus oli astiakokeissa happamalla mailla välillä 0,45-0,65 mg/l. Runsaasti kalkituilla mailla pH-luvun ollessa yli 6,8 (pH CaCl₂ yli 6,2) "puutosraja" oli 0,2-0,3 mg/l korkeammalla. Rypsin sisäinen boorintarve oli astiakokeissa siemeniä tuottaessa taimissa 18-32 mg/kg, varsissa 13-17 mg/kg ja lehdissä 22-38 mg/kg. Nämä rypsilä saadut tulokset soveltuvat rypsi- ja rapsilajikkeiden vertailukokeiden mukaan yhtä hyvin kaikille rypsi- ja rapsilajikkeille.

Neljässä kolmivuotisessa kenttäkokeessa, joissa maan kuumavesiliukoinen boori oli välillä 0,62-0,97 mg/l, ei todettu selvää boorilannoitustarvetta. Rypsin booripitoisuus näytti jäävän kuivina kausina kuitenkin alhaisemmaksi kuin astiakokeessa samalla maalla. Booripitoinen Y-lannos (0,2 % B, 1,2-1,4 kg B/ha) tuotti pienempiä rypsin siemensatoja kuin vastaava vähemmän booria sisältävä lannoite. Tämä liiallisen boorin aiheuttama sadonvähennys oli ilman kalkitusta keskimäärin 110 kg/ha eli 5 %. Kalkituksen yhteydessä lannoitteen booripitoisuus ei vaikuttanut keskimääräiseen siemensatoon, mutta yhdessä tapauksessa sijoitettu boori pienensi rypsin siemensatoa myös runsaasti kalkitulla maalla.

Ylimääräinen boori suurensi kenttäkokeissa siementen klorofyllipitoisuutta. Siementen öljypitoisuudessa erot olivat vähäisiä, mutta suurimman sadon tuottava boorilannoitus näyttää johtavan myös korkeimpaan öljypitoisuuteen. Siementen valkuaispitoisuuteen, kokoon ja puintikosteuteen boorilannoitus ei kenttäkokeissa vaikuttanut. Astiakokeessa rapsi- ja rypsilajikkeiden siemenet kasvoivat kohtalaisessa boorin puutteessa suuremmiksi, mutta itivät huonommin kuin normaalilla boorilannoituksella kasvatetut siemenet.

Maa-analyysi näyttää soveltuvan hyvin boorilannoitustarpeen arvioinnin perustaksi, koska se osoitti booritilan luotettavasti ja sen tulos on käytettävissä lannoitusta suunniteltaessa. Keskinäisen öljykasvisadon kvantitatiivinen boorintarve on 120 g/ha. Öljykasvien boorilannoitustarpeeksi (kg B/ha) arvioitiin sijoituslannoituksessa savimailla 0,6 - 0,5 x ja muilla mailla 0,6 - 0,67 x (x = maan kuumavesiliukoinen boori, mg/l). Maan pH-luvun ollessa yli 6,8 (pH CaCl₂ yli 6,2) lannoitustarve on 0,2 mg/l alemman maan booripitoisuuden mukainen. Hajalevityksessä arvioitiin tarvittavan savimailla kolminkertainen ja muil-

la mailla kaksinkertainen boorimäärä. Lannoitustarve voitaneen haitatta ylittää sijoituslannoituksessa puolella kilolla sekä hajalevityksessä savimailla puolelataoista ja muilla mailla yhdellä kilolla hehtaaria kohti.

IX KIRJALLISUUTTA

- AGULHON, H. 1910. Emploi du bore comme engrais catalytique. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 150: 288-291. (Ref. BERGER, K. C. 1949 sekä GAUCH, H. G. ja DUGGER, W. M. 1954.)
- ANON. 1970. Soluboori - uusi vesiliukoinen boorilannoite. Ajankohtaista. Rikkihappo Oy. p. 1. Helsinki.
- ANON. 1980-1983. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu 1980-1983. Ilmatieteen laitos. 144 p.
- AUBERT, H. & PINTA, M. 1977. Trace elements in soils. 395 p. Amsterdam.
- AZNAREZ, J., BONILLA, A. & VIDAL, J. C. 1983. Spectrophotometric and fluorimetric determination of boron in soils, plants and water by extraction with 2-methylpentane-2,4-diol in isobutyl methyl ketone. *Analyst* 108: 368-373.
- BAKER, A. S. & MORTENSEN, W. P. 1966. Residual effect of single borate applications on western Washington soils. *Soil Sci.* 102: 173-179.
- BASSON, W. D., BÖHMER, R. G. & STANTON, D. A. 1969. An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. *Analyst* 94: 1135-1141.
- BERGER, K. C. 1949. Boron in soils and crops. *Adv. Agron.* 1: 321-351.
- & TRUOG, E. 1939. Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. *Ind. Engin. Chem. Anal. Ed.* 11: 540-545.
- & TRUOG, E. 1944. Boron tests and determination for soils and plants. *Soil Sci.* 57: 25-36.
- BERGMANN, W. & NEUBERT, P. 1976. *Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse.* 711 p. Jena.
- BIBLE, B. B., JU, H.-Y. & CHONG, C. 1981. Boron deficiency in relation to growth and thiocyanate toxin content of radish. *Sci. Hort.* 15: 201-205.
- BINGHAM, F. T., ELSEEWI, A. & OERTLI, J. J. 1970. Characteristics of boron absorption by excised barley roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 613-617.
- , PAGE, A. L., COLEMAN, N. T. & FLACH, K. 1971. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 546-550.
- BIRCH, E. B., BLAMEY, F. P. C. & CHAPMAN, J. 1981. Boron nutrition of sunflower. *Farming in South Africa*, repr. 4 p.

- BIRNBAUM, E. H., DUGGER, W. M. & BEASLEY, B. C. A. 1977. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultured in vitro. *Plant Physiol.* 59: 1034-1038.
- BLAMEY, F. P. C. 1976. Boorvoeding van sonneblomme (Helianthus annuus L.) op 'n avalon mediumsandleemgrond. Reprint: Boron nutrition of sunflowers (Helianthus annuus L.) on an avalon medium sandy loam. *Agrochemo-physica* 8: 5-10.
- & CHAPMAN, J. 1979. Soil amelioration effects on boron uptake by sunflowers. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1057-1066.
- BOHNSACK, C. W. & ALBERT, L. S. 1977. Early effects of boron deficiency on indoleacetic acid oxidase levels of squash root tips. *Plant Physiol.* 59: 1047-1050.
- BOWEN, J. E. & NISSEN, P. 1977. Boron uptake by excised barley roots. II. Characteristics and kinetics of active uptake. *Physiol. Plant.* 41: 109-115.
- BRANDENBURG, E. 1931. Die Herz- und Trockenfäule der Rüben als Bormangel-Erscheinung. *Phytopath. Z.* 3: 499-517.
- BRENCHLEY, W. E. & WARRINGTON, K. 1927. The role of boron in the growth of plants. *Ann. Bot.* 41: 167-187.
- BRUMMER, V. 1965. Hivenaineiden käyttö. Sokerijuurikkaanviljelyn tutkimuskeskusten tietokortisto. Kortti II-F-1. 1 p.
- BUSSLER, W. 1964. Die Bormangelsymptome und ihre Entwicklung. *Z. Pfl.ernähr. Düng. Bodenk.* 105: 113-136.
- & DÖRING, H.-W. 1979. Verteilung und Löslichkeit von Bor in Helianthus annuus in Abhängigkeit vom Bor-Angebot. *Z. Pfl.ernähr. Bodenk.* 142: 719-730.
- CARTWRIGHT, B., TILLER, K. G., ZARCINAS, B. A. & SPOUNCER, L. R. 1983. The chemical assessment of the boron status of soils. *Aust. J. Soil Res.* 21: 321-332.
- CEDELL, T. 1982. Gödslingsförsök. Försöksverksamheten 1981/1982. Sveriges oljeväxtodlares centralförening. p. 48-58.
- CHAMEL, A. R., ANDREANI, A.-M. & ELOY, J.-F. 1981. Distribution of foliar-applied boron measured by spark-source mass spectrometry and laser-probe mass spectrography. *Plant Physiol.* 67: 457-459.
- CHANDLER, F. B. 1941. Mineral nutrition of the genus Brassica with particular reference to boron. *Maine Agric. Exp. Sta. Bull.* 404: 307-399.
- CLARKSON, D. T. & HANSON, J. B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 239-298.
- COHEN, M. S. & LEPPER, R., Jr. 1977. Effect of boron on cell elongation and division in squash roots. *Plant Physiol.* 59: 884-887.

- COLWELL, W. E. 1943. A biological method for determining the relative boron contents of soils. *Soil Sci.* 56: 71-94.
- DREWS, M. & FRANK, R. 1980. Der Borgehalt gemüsebaulich genutzter Böden in Gewächshausanlagen und dessen Bestimmung nach einer Schnellmethode. *Arch. Gartenbau* 28: 227-239.
- DUGGER, W. M. & PALMER, R. L. 1980. Effect of boron on the incorporation of glucose from UDP-glucose into cotton fibers grown in vitro. *Plant Physiol.* 65: 266-273.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1-122.
- 1980. Sijoituslannoitus - kasvintuotantomme suuri edistysaskel. Maan ja kasvun hyväksi. Vuorineuvos M. Hovin juhlaulkaisu. p. 89-104. Helsinki.
- ELRASHIDI, M. A. & O'CONNOR, G. A. 1982. Boron sorption and desorption in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 27-31.
- ELSAIR, J., MERAD, D., DENINE, R., REGGABI, M., BENALI, S., ALAMIR, B. HAMROUR, M., AZZOUZ, M., KHALFAT, K. ym. 1982. Action of boron upon fluorosis: an experimental study. *Fluoride* 15, 2: 75-78. (Ref. Boron in agriculture 3, 2: 10.)
- ELSEEWI, A. A. & ELMALKY, A. E. 1979. Boron distribution in soils and waters of Egypt. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 297-300.
- ERVIÖ, R. 1970. Maan boori ja timotei. *Koetoim. ja Käyt.* 27: 44.
- EVANS, C. M. & SPARKS, D. L. 1983. On the chemistry and mineralogy of boron in pure and in mixed systems: A review. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.* 14: 827-846.
- FOX, R. H. 1968. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentrations of boron by cotton and alfalfa. *Soil Sci.* 106: 435-439.
- GAINES, T. P. & MITCHELL, G. A. 1979. Boron determination in plant tissue by the azomethine H method. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1099-1108.
- GARATE, A., CADAHIA, C. & CARPENA, O. 1981. Fraccionamiento de boro en suelos calizos mediante un sistema de electroultrafiltration (EUF). Summary: Boron fractioning by a electroultrafiltration system (EUF) on calcareous soils. *An. Edaf. Agrobiol.* 40: 545-555.
- GAUCH, H. G. & DUGGER, W. M., Jr. 1953. The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiol.* 28: 457-466.
- & DUGGER, W. M., Jr. 1954. The physiological action of boron in higher plants: A review and interpretation. *Maryland Agric. Exp. Sta. Bull.* A80: 1-43.
- GERATH, H., BORCHMANN, W. & ZAJONIC, I. 1975. Zur Wirkung des Mikronährstoffs Bor auf die Ertragsbildung von Winterraps (Brassica napus L. ssp. oleifera). *Arch. Acker Pfl.bau Bodenk.* 19: 781-792.

- GESTRING, W. D. & SOLTANPOUR, P. N. 1981a. Boron analysis in soil extracts and plant tissue by plasma emission spectroscopy. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 733-742.
- & SOLTANPOUR, P. N. 1981b. Evaluation of wet and dry digestion methods for boron determination in plant samples by ICP-AES. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 743-753.
- GOOR, B. J. van & LUNE, P. van 1980. Redistribution of potassium, boron, iron, magnesium and calcium in apple trees determined by an indirect method. *Physiol. Plant.* 48: 21-26.
- GRIFFIN, R. A. & BURAU, R. G. 1974. Kinetic and equilibrium studies of boron desorption from soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 892-897.
- GUPTA, S. K. 1978. Effect of soil-properties on the extractable boron contents. *Schw. Landw. Forsch.* 17: 45-50.
- & HANI, H. 1975. Response of spinach (*Spinacia oleracea* L.) to applied boron in a boron deficient soil. *Schw. Landw. Forsch.* 14: 171-176.
- & STEWART, J. W. B. 1975. The extraction and determination of plant-available boron in soils. *Schw. Landw. Forsch.* 14: 153-169.
- & STEWART, J. W. B. 1978. An automated procedure for determination of boron in soils, plants, and irrigation waters. *Schw. Landw. Forsch.* 17: 51-55.
- GUPTA, U. C. 1967a. The boron determination of some plant material as determined with and without adding CaO before ashing. *Plant and Soil* 26: 202-204.
- 1967b. A simplified method for determining hot-water-soluble boron in podzol soils. *Soil Sci.* 103: 424-428.
- 1968. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 45-48.
- 1979a. Some factors affecting the determination of hot-water-soluble boron from podzol soils using azomethine-H. *Can. J. Soil Sci.* 59: 241-247.
- 1979b. Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.* 31: 273-307.
- & CUTCLIFFE, J. A. 1972. Effect of lime and boron on brown-heart, leaf tissue calcium/boron ratios, and boron concentrations of rutabaga. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 936-939.
- & CUTCLIFFE, J. A. 1978. Effects of methods of boron application on leaf tissue concentration of boron and control of brown-heart in rutabaga. *Can. J. Plant Sci.* 58: 63-68.
- & CUTCLIFFE, J. A. 1982. Residual effect of boron applied to rutabaga on subsequent cereal crops. *Soil Sci.* 133: 155-159.

- GUPTA, U. C. & MACLEOD, J. A. 1981. Plant and soil boron as influenced by soil pH and calcium sources on podzol soils. *Soil Sci.* 131: 20-25.
- HADDAD, K. S. & KALDOR, C. J. 1982. Effect of parent material, natural available soil boron, and applied boron and lime on the growth and chemical composition of lucerne on some acidic soils of the central tablelands of New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 22: 317-323.
- HASLER, A. & MAURIZIO, A. 1949. Die Wirkung von Bor auf Samensatz und Nektarsekretion bei Raps (*Brassica Napus L.*). *Phytopath. Z.* 15: 193-207.
- HATCHER, J. T., BLAIR, G. Y. & BOWER, C. A. 1959. Response of beans to dissolved and adsorbed boron. *Soil Sci.* 88: 98-100.
- & WILCOX, L. V. 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. *Anal. Chem.* 22: 567-569.
- HEINONEN, R. 1961. Boorin niukkuus raudanpuutostaudin aiheuttajana kaurassa rahkasuolla. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 33: 267-271.
- HEMPHILL, D. D., Jr., WEBER, M. S. & JACKSON, T. L. 1982. Table beet yield and boron deficiency as influenced by lime, nitrogen, and boron. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 1190-1192.
- HENRIKSEN, A. 1970. Om indhold af bor i danske landbrugsafgrøder. Summary: The boron content of agricultural crops in Denmark. *Tidsskr. Planteavl* 74: 372-377.
- HOBBS, J. A. & BERTRAMSON, B. R. 1949. Boron uptake by plants as influenced by soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 14: 257-261.
- HOVI, M. 1947. Hivenaineet kasvutekijöinä pelto- ja puutarhakasveilla. 112 p. Helsinki.
- HÄNNINEN, P. 1962. Siemenpuna-apilan boorikokeiden tuloksia paikalliskokeissa III. *Koetoim. ja Käyt.* 19: 20.
- 1966. Boron fertilization and red clover seed production in central Finland. *Acta Agr. Fenn.* 107: 154-160.
- JAAKKOLA, A. 1978. Peltojen lannoitus. *Kasvinviljelyoppi* 1: 145-191. Helsinki.
- 1981. Huuhtoutuminen ja lannoitustarve. *Koetoim. ja Käyt.* 24.11.1981: 52.
- JAMALAINEN, E. A. 1935a. Tutkimuksia lantun ruskotaudista. *Valt. Maatal.koetoim. Julk.* 72: 1-116.
- 1935b. Der Einfluss steidenger Borsäuremengen auf die Kohlrübenernte. *Selostus: Nousevien boorimäärien vaikutuksesta lantun satoon.* *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 7: 182-186.
- 1936a. Boorin vaikutus kuoppataudin esiintymiseen omenissa. *Valt. Maatal.koetoim. Julk.* 89: 1-19.

- JAMALAINEN, E. A. 1936b. Juurikkaiden kuiva- ja sydänmädän torjunta booripitoisilla aineilla. Valt. Maatal.koetoin. Tiedonant. 110: 1-8.
- 1949. Boorin puutteesta aiheutuvista kasvitaudeista ja boorin merkityksestä maamme kasvinviljelyssä. Valt. Maatal.koetoin. Julk. 130: 1-48.
 - 1968. Juurikkaiden ja lantun boorinpuutostaudit. Maatalouden tutkimuskeskuksen tietokortisto. Kortti 5 B 17. 2 p.
- JAME, Y. W., NICHOLAICHUK, W., LEYSHON, A. J. & CAMPBELL, C. A. 1982. Boron concentration in the soil solution under irrigation: A theoretical analysis. Can. J. Soil Sci. 62: 461-471.
- JAY, H. 1895. Sur la dispersion de l'acide borique dans la nature. Compt. Rend. Acad. Sci. 121: 896-899. (Ref. Shive, J. W. 1945.)
- JENSEN, J. 1962. Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenaeringsstoffer. Summary: Investigations on the content of plant nutrients in the precipitation. Tidsskr. Planteavl 65: 894-906.
- 1964. Vekselvirkningen mellem kalk og bor. Summary: Lime-boron interaction. Tidsskr. Planteavl 68: 135-144.
 - 1974. Bor som plantenaeringsstoff. Festskrift til F. Steenbjerg. p. 129-139.
- JIMENEZ-LUCENA, F. & BAREA, J. M. 1979. Inhibition of seed germination and α -amylase activity by high doses of boron and reversal by Azobacter produced gibberellin and gibberellic acid. Agrochimica 23: 397-400.
- JOHANSSON, O. & NILSSON, L. G. 1973. Borgödsling till höstoljeväxter. Avd. Växtnäringslära Rapp. 62: 1-17.
- JOHN, M. K. 1973. A batch-handling technique for hot-water extraction of boron from soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37: 332-333.
- , CHUAH, H. H. & NEUFELD, J. H. 1975. Application of improved azomethine-H method to the determination of boron in soils and plants. Anal. Lett. 8: 559-568.
- JOHNSON, D. L. & ALBERT, L. S. 1967. Effect of selected nitrogen-bases and boron on the ribonucleic acid content, elongation, and visible deficiency symptoms of tomato root tips. Plant Physiol. 42: 1307-1309.
- JOKINEN, R. & LARPE, G. 1978. Kevätöljykasvien lannoitus ja kylvöaika. Koetoin. ja Käyt. 28.2.1978: 6.
- JONES, H. E. & SCARSETH, G. D. 1944. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. Soil Sci. 57: 15-24.
- JU, H.-Y., CHONG, C. & BIBLE, B. B. 1982. Influence of boron nutrition on glucosinolates and reducing sugars of turnip. Can. J. Plant Sci. 62: 1037-1042.
- JUEL, O. 1980. Gødsling og forfrugtsvaerdi af raps. Semin. Oljevæxtodl. Föredr. Göteborg. p. 156-164.

- KLUGE, R. & BEER, K. 1979. Einfluss des pH-Wertes auf die B-Adsorption von Aluminiumhydroxidgel, Tonmineralen und Böden. Arch. Acker Pfl.bau Bodenk. 23: 279-287.
- , BERGMANN, W. & PODLESACK, W. 1981. Einfluss des pH-Wertes auf den Gehalt an heisswasserlöslichen Bor im Boden. Arch. Acker Pfl.bau Bodenk. 25: 663-670.
- & PODLESACK, W. 1981. Untersuchungen zur Abhängigkeit des Gehaltes an pflanzenverfügbarem Bor von Feinanteil und Humusgehalt des Bodens. Arch. Acker Pfl.bau Bodenk. 25: 595-600.
- KORONOWSKI, P. 1961a. Morfologische Veränderungen an Mais und anderen Getreidearten bei Bormangel. Z. Pfl.ernähr. Düng. Bodenk. 94: 25-39.
- 1961b. Anatomische Veränderungen an Mais und anderen Getreidearten bei Bormangel. Z. Pfl.ernähr. Düng. Bodenk. 94: 53-67.
- KOSKINEN, Y. K. 1952. Tuloksia ja kokemuksia hivenravinteilla järjestetyistä kokeista. Maatal. ja Koetoim. 6: 24-29.
- KOWALENKO, C. G. 1979. Sodium hypobromite digestion for boron analysis of plant and soil materials. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 10: 1421-1434.
- KOZAI, S. & HOSHINA, T. 1981. Determination of hot water soluble boron in tea garden soils by azomethine H method. Chagyo Kenkyu Hokoku 54: 32-35. (ref. Boron in agriculture 3, 1: 4.)
- KRAUSKOPF, K. B. 1973. Geochemistry of micronutrients. Micronutrients in agriculture. p. 7-40. 2nd Ed. Madison.
- KRAKKAI, I. & KÖRÖSI, F. 1983. A boron-distribution pattern in cells as measured by a $^{10}\text{B}/n, \alpha/^{7}\text{Li}$ reaction. Env. Exp. Bot. 23: 93-95.
- KROSING, M. 1978. Der Einfluss von Bormangel und von mechanischer Zerstörung des Spitzenmeristems auf die Zellteilung bei Sonnenblumen. Z. Pfl.-ernähr. Bodenk. 141: 641-654.
- KUBOTA, J., BERGER, K. C. & TRUOG, E. 1948. Boron movement in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13: 130-134.
- KUIJPER, J. 1930. Boorzuur tegen de topziekte van de tabak. Deli Proefstation te Medan. Vlugschrift 50. (Ref. BRANDENBURG, E. 1931.)
- KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. 182 p. Helsinki.
- 1979. Suomen peltojen viljavuuden kehityksestä. 41 p. Helsinki.
- 1981. Viljavuustutkimuksen hyväksikäyttö. 20 p. Helsinki.
- 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. 181 p. Helsinki.
- KUTSCHA-LISSBERG, P. & PRILLINGER, F. 1982. Rapid determination of EUF-extractable nitrogen and boron. Plant and Soil 64: 63-66.
- KÄHÄRI, J. 1983. Suomen peltojen viljavuuden kehittyminen vuosina 1981 ja 1982. 8 p. Helsinki.
- & NISSINEN, H. 1978. The mineral element contents of timothy (Phleum pratense L.) in Finland. I. Calcium, magnesium, phosphorus, potassium, chromium, cobalt, copper, iron, manganese, sodium, and zinc. Acta Agr. Scand. Suppl. 20: 26-39.

- LARPES, G. 1980. Gödselgivor till våroljeväxter. Semin. Oljeväxtodl. Föredr. Göteborg. p. 148-155.
- LEE, S. & ARONOFF, S. 1967. Boron in plants: A biochemical role. *Science* 158: 798-799.
- LOHSE, G. 1982. Microanalytical azomethine-H method for boron determination in plant tissue. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 13: 127-134.
- LOVATT, C. J., ALBERT, L. S. & TREMBLAY, G. C. 1981. Synthesis, salvage, and catabolism of uridine nucleotides in boron-deficient squash roots. *Plant Physiol.* 68: 1389-1394.
- LU, Q. Q. 1981. (Index of boron deficiency causing spring wheat infertility and prediction of adequacy of other trace elements in some areas of North-east China.) *Turang Tongbao (J. Soil Sci.)* 5: 22-24. (Ref. *Soils and Fert.* 46: 611.)
- MCPHAIL, M., PAGE, A. L. & BINGHAM, F. T. 1972. Adsorption interaction of monosilicic and boric acid on hydrous oxides of iron and aluminum. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 510-514.
- MARTENS, D. C. 1968. Plant availability of extractable boron, copper, and zinc as related to selected soil properties. *Soil Sci.* 106: 23-28.
- MAURUA, A. N., RAI, R. N. & LAL, S. 1977. Effects of boron and nitrogen fertilizers on radish (*Raphanus sativus*). *Exp. Agric.* 13: 301-303.
- MAZĚ, P. 1915. Influences respectives des elements menéraux rares necessaires au developpement du maïs. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 160: 211-214. (Ref. SHIVE, J. W. 1945.)
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. 1978. Principles of plant nutrition. 593 p. Bern.
- METWALLY, A. I., EL-DAMATY, A. H. & YOUSRY, M. 1974a. Anion adsorption as a possible mechanism of boron retention by soils. *Egypt. J. Soil Sci.* 14: 23-31.
- , EL-DAMATY, A. H. & YOUSRY, M. 1974b. Amorf oxidok bórmegekötése. Summary: Boron retention by amorphous oxides. *Agrokémia és Talajtan* 23: 59-70.
- MICHAEL, G., WILBERG, E. & KOUHSIAHI-TORK, K. 1969. Durch hohe Luftfeuchtigkeit induziertem Bormangel. *Z. Pfl.ernähr. Bodenk.* 122: 1-3.
- MILLER, D. A. & SMITH, R. K. 1977. Influence of boron on other chemical elements in alfalfa. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 465-478.
- MORTVEDT, J. J. & OSBORN, G. 1965. Boron concentration adjacent to fertilizer granules in soil, and its effect on root growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 187-191.
- MULLER, F. B. & MCSWEENEY, G. 1976. Toxicity of borates to turnips. *N. Z. J. Exp. Agric.* 4: 451-455.

- MYERS, L. F., LIPSETT, J. & KIRCHNER, R. 1983. Response of rapeseed (*Brassica napus*) to phosphorus, boron and lime on an acid soil near Canberra. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 23: 172-177.
- MAKITIE, O. 1968. Aluminium, extractable from soil samples by the acid ammonium acetate soil-testing method. *Selostus: Maan alumiinin liukenemisesta viljavuusanalyysin happamaan ammoniumasetatiliuokseen.* *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 40: 54-59.
- NAKAMURA, M. 1903. Can boric acid in high dilution exert a stimulant action on plants? *Bull. Coll. Agric. Tokyo* 4: 509-512. (Ref. BRANDENBURG, E. 1931 ja BERGER, K. C. 1949).
- NILSSON, L. G. 1982. Borgödsling - små givor, kalktillstånd och till olika grödor. *Avd. Växtnäringslära Rapp.* 142: 1-8. 9 p. tabeller.
- ODOM, J. W. 1980. Kinetics of the hot water soluble boron soil test. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 759-765.
- OERTLI, J. J. 1962. Loss of boron from plants through guttation. *Soil Sci.* 94: 214-219.
- & AHMED, N. Y. 1971. Artificially induced mobility of boron. *Z. Pfl. ernähr. Bodenk.* 128: 97-104.
 - & GRGUREVIC, E. 1975. Effect of pH on the absorption of boron by excised barley roots. *Agron. J.* 67: 278-280.
 - KOHL, H. C. 1961. Some considerations about the tolerance of various plant species to excessive supplies of boron. *Soil Sci.* 92: 243-247.
 - RICHARDSON, W. F. 1970. The mechanism of boron immobility in plants. *Physiol. Plant.* 23: 108-116.
- PARKER, D. R. & GARDNER, E. H. 1981. The determination of hot-water-soluble boron in some acid Oregon soils using a modified azomethine-H procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 1311-1322.
- & GARDNER, E. H. 1982. Factors affecting the mobility and plant availability of boron in western Oregon soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 573-578.
- PARKS, W. L. & WHITE, J. L. 1952. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16: 298-300.
- PELIGOT, E. 1876. De l'action que l'acide borique et les borates exercent sur les vegetaux. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 83: 686-688. (Ref. CHANDLER, F. B. 1941.)
- PETERSON, J. R. & MACGREGOR, J. M. 1966. Boron fertilization of corn in Minnesota. *Agron. J.* 58: 141-142.
- PETERSON, L. A. & NEWMAN, R. C. 1976. Influence of soil pH on the availability of added boron. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40: 280-282.

- PHILIPSON, T. 1953. Boron in plant and soil, with special regard to Swedish agriculture. *Acta Agr. Scand.* 3: 121-242.
- PILBEAM, D. J. & KIRKBY, E. A. 1983. The physiological role of boron in plants. *J. Plant Nutr.* 6: 563-582.
- PINERO, M. T., CADAHIA, C., HERNANDO, V. & BONILLA, I. 1977a. Estudio de la accion del boro sobre la absorcion y metabolismo de elementos esenciales, rendimientos e indice de calidad en el cultivo de tomate. I. Influencia sobre absorcion y metabolismo de elementos esenciales. Summary: Study of boron incidence on the absorption and metabolism of macroelements, yields and quality index of tomato plants. I. Boron incidence on the absorption and metabolism of macroelements. *An. Edaf. Agrobiol.* 36: 1209-1222.
- , CADAHIA, C. & HERNANDO, V. 1977b. II. Influencia sobre rendimientos e indices de calidad nutritiva. Summary: Boron action on the yields and quality index. *An. Edaf. Agrobiol.* 36: 1223-1235.
- PISSAREK, H.-P. 1980. Makro- und Mikrosymptome des Bormangels bei Sonnenblumen, Chinakohl und Mais. *Z. Pfl.ernähr. Bodenk.* 143: 150-160.
- PONNAMPERUMA, F. N., CAYTON, M. T. & LANTIN, R. S. 1981. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. *Plant and Soil* 61: 297-310.
- PORTER, S. R., SPINDLER, S. C. & WIDDOWSON, A. E. 1981. An improved automated colorimetric method for the determination of boron in extracts of soils, soil-less peat-based composts, plant materials and hydroponic solutions with azomethine-H. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 461-473.
- PRASAD, M. & BYRNE, E. 1975. Boron source and lime effects on the yield of three crops grown in peat. *Agron. J.* 67: 553-556.
- PRATHER, R. J. 1977. Sulfuric acid as an amandment for reclaiming soils high in boron. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41: 1098-1101.
- PUUSTJARVI, V. 1980. Rationalized micronutrient fertilization. *Peat Plant Yearb.* 1980: 3-12.
- REEVE, E. & SHIVE, J. W. 1944. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. *Soil Sci.* 57: 1-14.
- REISENAUER, H. M., WALSH, L. M. & HOEFF, R. G. 1973. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, and chlorine. *Soil testing and plant analysis.* p. 173-200. Madison.
- ROTH-BEJERANO, N. & ITAI, C. 1981. Effect of boron on stomatal opening in epidermal strips of *Commelina communis*. *Physiol. Plant.* 52: 302-304.
- RUSZKOWSKA, M., REBOWSKA, Z., GLINSKI, J., BARAN, S., SYKUT, S. & KUSIO, M. 1977. Balance of trace elements (B, Mn, Cu, Zn, Mo) in a lysimetric experiment. *Pol. J. Soil Sci.* 9: 107-114.

- SAARELA, I. 1983. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote 10/83: 1-13.
- SALINAS, R. M., CERDA, A. & FERNANDEZ, F. G. 1982. Efecto del boro sobre la composition mineral de quisante y pimiento. Summary: Effect of B in the root medium on leaf mineral composition of pepper and pea plants. An. Edaf. Agrobiol. 41: 991-1001.
- SALMINEN, M. 1952. Boorin puute ja sen torjuminen. Maatal. ja Koetoim. 6: 14-23.
- 1959. Lisähavaintoja boorin vaikutuksesta puna-apilan siemenen muodostumiseen. Maatal. ja Koetoim. 13: 193-196.
- SALONEN, M. 1961. Porkkanan ja punajuurikkaan suhtautuminen erilaiseen lannoitukseen verrattuna lantun ja perunan vastaavaan. Maatal. ja Koetoim. 16: 205-212.
- SARKAR, A. N. & WYN JONES, R. G. 1982. Effect of rhizosphere pH on the availability and uptake of Fe, Mn and Zn. Plant and Soil 66: 361-372.
- SCHALSCHA, E. B., BINGHAM, E. T., GALINDO, G. G. & GALVAN, H. P. 1973. Boron adsorption by volcanic ash soils in southern Chile. Soil Sci. 116: 70-76.
- SCHARRER, K., KÜHN, H. & LÜTTMER, J. 1956. Untersuchungen über die Bindung des Bors durch anorganische Bodenbestandteile. Z. Pfl.ernähr. Düng. Bodenk. 73: 40-48.
- SHERREL, C. G. 1983a. Assessment of plant-available boron in some New Zealand soils. N. Z. J. Agric. Res. 26: 191-195.
- 1983b. Plant and soil boron in relation to boron deficiency in lucerne. N. Z. J. Agric. Res. 26: 209-214.
- 1983c. Effect of boron application on seed production of New Zealand herbage legumes. N. Z. J. Exp. Agric. 11: 113-117.
- SHIVE, J. W. 1945. Boron in plant life - a brief historical survey. Soil Sci. 60: 41-51.
- SHKOLNIK, M. J. & ILINSKAJA, N. L. 1975. (Effect of boron deficiency on the activity of glucose 6-phosphate dehydrogenase in plants with different boron requirements.) Fisiol. Rast. 22: 801-805. (Ref. Boron in agriculture 114: 6.)
- , KRUPNIKOVA, T. A. & SMIRNOV, J. S. 1981. (Activity of polyphenol oxidase and sensitivity to a boron deficiency in monocotyledonous and dicotyledonous plants.) Fisiol. Rast. 28: 391-397. (Ref. Boron in agriculture 2, 3: 7.)
- SHORROCK, V. M. 1982. Boron deficiency, its prevention and cure. 44 p. London.
- SILLANPÄÄ, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. FAO Soils Bull. 48: 1-444.
- SIMOJOKI, P. 1969. Torajyvä, ohra ja boori. Koetoim. ja Käyt. 26: 1, 3.
- 1972. Tuloksia ohran boorilannoituskokeista. Ann. Agr. Fenn. 11: 333-341.

- SIMS, J. R. & BINGHAM, F. T. 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: II. Sesquioxides. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 364-373.
- SIPPOLA, J. 1982. A comparison between a dry-combustion method and a rapid wet-combustion method for determining soil organic carbon. *Ann. Agric. Fenn.* 21: 146-148.
- & ERVIÖ, R. 1977. Determination of boron in soils and plants by the azomethine-H method. *Finn. Chem. Lett.* 1977: 138-140.
 - & TARES, T. 1978. The soluble content of mineral elements in cultivated Finnish soils. *Acta Agr. Scand. Suppl.* 20: 11-25.
- SMILDE, K. W. 1970. Soil analysis as a basis for boron fertilization of sugar beets. *Z. Pfl.ernähr. Bodenk.* 125: 130-143.
- SOMMER, A. L. & LIPMAN, C. B. 1926. Evidence of the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.* 1: 231-249. (Ref. SHIVE, J. W. 1945 ja BERGER, K. C. 1949.)
- STABEL, C., BAGGER, O. & SODE, J. 1970. Undersøgelser over borgødskning af rødkløver. *Tidsskr. Planteavl* 74: 97-110.
- TAINIO, A. 1951. Boorin puutteesta ja boorilannoituksen merkityksestä viljelysmaillamme. *Koetoim. ja Käyt.* 2: 4.
- 1955. Niittonurmien kupari- ja boorilannoituksen tarpeesta. *Maatal. ja Koetoim.* 9: 58-66.
 - 1957. Boorilannoituksen merkityksestä syysrypsille. *Koetoim. ja Käyt.* 14: 31.
 - 1961. Voidaanko hivenaineilla torjua torajyvää? *Koetoim. ja Käyt.* 18: 38, 40.
- TAKAMAKI, K. 1983. Lannoitteiden myynnin jakautuminen maatalouskeskusalueittain 1982-83. 18 p. Helsinki.
- TANADA, T. 1983. Localization of boron in membranes. *J. Plant Nutr.* 6: 743-749.
- TARES, T. & SIPPOLA, J. 1978. Changes in pH, in electrical conductivity and in the extractable amounts of mineral elements in soil, and the utilization and losses of the elements in some field experiments. *Acta Agr. Scand. Suppl.* 20: 90-113.
- TEUTEBERG, W. 1978. Bor zu Raps. 5th Int. Rapeseed Conf. Proc. Malmö. p. 260-265.
- & TRAUTSCHOLD, E.-W. 1978. Der Einfluss von Erntetermin und Düngung auf die Inhaltsstoffe des Rapses. 5th Int. Rapeseed Conf. Proc. Malmö. p. 235-244.
- TOLONEN, K. 1974. Suomen keidassuovesien ravinteista. *Suo* 25: 41-51.
- TOUCHTON, J. T., BOSWELL, F. X. & MARCHANT, W. H. 1980. Boron for soybeans grown in Georgia. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 369-378.
- TRUNINGER, E. 1944. Versuche und Untersuchungen über die Wirkungen des Bors als Spurenelement. *Landw. J.buch Schw.* 58: 1-36.

- TUMMAVUORI, J. & KAIKKONEN, R. 1982. On the analysis of boron of fertilizer peat moss. *Seloste: Lannoitetun kasvuturpeen boorin määrittämisestä*. Suo 33: 51-54.
- TAHTINEN, H. 1970. Boorilannoituksen jälkivaikutus. *Ann. Agr. Fenn.* 9: 331-335.
- 1974. The effect of boron fertilization on spring cereals. *Selostus: Boorilannoituksen vaikutus kevätiljoilla*. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 46: 289-295.
- VEIJALAINEN, H. 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. *Folia For.* 477: 1-15.
- VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Selostus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmästä*. *Agrogeol. Julk.* 63: 1-44.
- WAINWRIGHT, I. M., PALMER, R. L. & DUGGER, W. M. 1980. Pyrimidine pathway in boron-deficient cotton fiber. *Plant Physiol.* 65: 893-896.
- WARRINGTON, K. 1923. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann. Bot.* 37: 629-672.
- WATANABE, K., IMAI, T., FUJII, H., OKADA, K., NAKANO, K. & TAKE, M. 1981. Determination of hot-water-soluble boron in soils using azomethine-H. *Hyogoken Nogyo Sogo Senta Kenkyu Hokoku* 29: 29-34. (Ref. Boron in agriculture 3, 4: 6.)
- WEAR, J. I. & PATTERSON, R. M. 1962. Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26: 344-346.
- WIKNER, B. 1981. Boron determination in natural waters with curcumin using 2,2-dimethyl-1,3-hexanediol to eliminate interferences. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 697-709.
- WILLIAMS, D. E. & VLAMIS, J. 1961. Boron analysis of plant tissue. *Soil Sci.* 92: 161-165.
- WILSON, C. M., LOVVORN, R. L. & WOODHOUSE, W. W., Jr. 1951. Movement and accumulation of water-soluble boron within the soil profile. *Agron. J.* 43: 363-367.
- WITTSTEIN, A. & APOIGER, F. 1857. Entdeckung der Borsäure im Pflanzenreiche. *Ann. Chem. Pharm.* 103: 362-364. (Ref. WARRINGTON, K. 1923.)
- WOLF, B. 1971. The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 2: 363-374.
- 1974. Improvements in the azomethine-H method for the determination of boron. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 5: 39-44.
- 1982. An improved universal extracting solution and its use for diagnosing soil fertility. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 13: 1005-1033.

- WOODRUFF, J. R. 1979. Soil boron and soybean leaf boron in relation to soybean yield. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 941-952.
- ØDELIEN, M. 1963. Long-term field experiments with small applications of boron. *Soil Sci.* 95: 60-62.

Liite 2. Maan booritestausta -kokeen maaerien happamuus, johtoluku ja happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvat ravinteet (mg/l).

| Erä | pH _{H₂O} alussa | Johtoluku alussa | Kalsium alussa | Kalium alussa | Magnesium alussa | Fosfori alussa | pH _{CaCl} syksy -80 | pH _{CaCl} syksy -81 |
|-----------------------|--|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Savet | | | | | | | | |
| 1 | 6,5 | 2,5 | 3000 | 320 | 860 | 8 | 4,4 | 6,0 |
| 2 | 6,0 | 1,4 | 3050 | 410 | 535 | 16 | 4,4 | 5,6 |
| 3 | 5,3 | 2,0 | 1550 | 210 | 715 | 2 | 4,5 | 5,0 |
| 4 | 6,4 | 1,3 | 2650 | 315 | 380 | 30 | 4,6 | 5,6 |
| 5 | 5,6 | 5,1 | 1850 | 470 | 365 | 11 | 4,1 | 5,0 |
| 6 | 6,4 | 3,3 | 3600 | 100 | 215 | 9 | 5,4 | 6,0 |
| 7 | 5,1 | 1,6 | 1150 | 90 | 145 | 8 | 4,0 | 4,5 |
| 8 | 6,6 | 1,6 | 2750 | 165 | 255 | 66 | 4,8 | 6,2 |
| Karkeat kivennäismaat | | | | | | | | |
| 9 | 5,0 | 3,3 | 900 | 130 | 95 | 5 | 3,8 | 4,8 |
| 10 | 5,8 | 2,3 | 1450 | 120 | 195 | 7 | 4,2 | 5,1 |
| 11 | 6,5 | 1,4 | 2350 | 175 | 175 | 83 | 4,7 | 5,8 |
| 12 | 6,0 | 1,6 | 1550 | 240 | 155 | 13 | 4,4 | 5,3 |
| 13 ^x | 4,3 | 4,1 | 350 | 95 | 45 | 7 | 4,1 | 5,0 |
| 14 | 4,9 | 3,5 | 900 | 65 | 185 | 6 | 3,6 | 5,0 |
| 15 | 6,6 | 3,5 | 2150 | 100 | 45 | 9 | 4,8 | 6,0 |
| 16 | 6,9 | 3,1 | 2200 | 175 | 125 | 26 | 5,6 | 6,8 |
| 17 | 5,8 | 2,2 | 1500 | 60 | 165 | 13 | 4,2 | 5,3 |
| 18 | 6,7 | 1,3 | 1850 | 230 | 65 | 96 | 4,6 | 5,8 |
| 19 | 5,8 | 1,0 | 800 | 170 | 125 | 21 | 4,1 | 5,1 |
| 20 | 5,4 | 3,9 | 1000 | 110 | 55 | 5 | 4,2 | 4,8 |
| 21 | 5,3 | 1,7 | 150 | 145 | 20 | 2 | 4,2 | 4,9 |
| 22 | 5,4 | 0,7 | 50 | 50 | 20 | 1 | 4,0 | 5,2 |
| Eloperäiset maat | | | | | | | | |
| 23 | 5,4 | 2,1 | 3400 | 65 | 550 | 9 | 4,4 | 4,9 |
| 24 | 5,2 | 2,6 | 2950 | 170 | 280 | 7 | 4,2 | 4,7 |
| 25 ^x | 4,7 | 2,2 | 1600 | 85 | 110 | 13 | 4,1 | 4,7 |
| 26 | 4,3 | 8,3 | 1150 | 75 | 190 | 7 | 3,5 | 4,5 |
| 27 ^x | 4,9 | 4,0 | 1450 | 65 | 270 | 11 | 4,5 | 5,4 |
| 28 ^x | 3,8 | 1,0 | 150 | 25 | 50 | 2 | 3,8 | 4,5 |
| 29 | 4,6 | 3,2 | 700 | 80 | 170 | 8 | 3,9 | 4,9 |
| 30 | 5,2 | 3,8 | 950 | 95 | 380 | 9 | 4,3 | 5,1 |

^x 12 g CaCO₃ kokeen alussa

Liite 3. Maan booritestaus -kokeen maan boorianalyysit (mg/l).

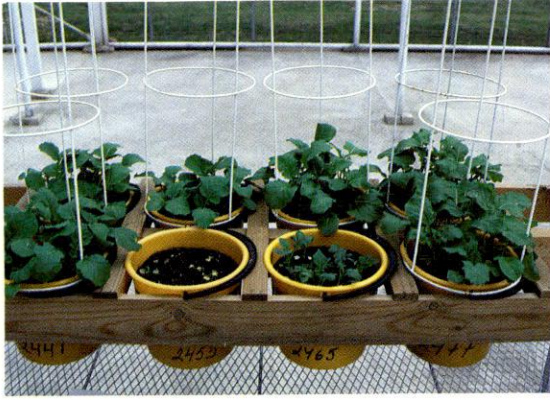
| Erä | Kuumavesiliukoinen | | | "Kylmävesiliukoinen" | |
|------------------------------|--------------------|------------|-------------|----------------------|------------|
| | alussa | syksy 1981 | keväät 1982 | alussa | syksy 1980 |
| Savet | | | | | |
| 1 | 0,94 | 0,80 | 0,66 | 0,22 | 0,19 |
| 2 | 0,88 | 0,71 | 0,58 | 0,18 | 0,17 |
| 3 | 0,56 | 0,42 | 0,32 | 0,13 | 0,13 |
| 4 | 1,07 | 0,76 | 0,59 | 0,26 | 0,22 |
| 5 | 0,95 | 0,63 | 0,48 | 0,19 | 0,16 |
| 6 | 0,48 | 0,38 | 0,39 | 0,21 | 0,21 |
| 7 | 0,55 | 0,36 | 0,45 | 0,20 | 0,12 |
| 8 | 1,22 | 0,77 | 0,61 | 0,24 | 0,20 |
| Karkeat kivennäismaat | | | | | |
| 9 | 0,44 | 0,41 | 0,35 | 0,09 | 0,13 |
| 10 | 0,42 | 0,34 | 0,47 | 0,07 | 0,13 |
| 11 | 1,18 | 0,89 | 0,78 | 0,42 | 0,34 |
| 12 | 0,52 | 0,46 | 0,48 | 0,18 | 0,12 |
| 13 | 0,87 | 0,55 | 0,42 | 0,20 | 0,19 |
| 14 | 0,29 | 0,28 | 0,38 | 0,07 | 0,12 |
| 15 | 0,58 | 0,37 | 0,40 | 0,14 | 0,11 |
| 16 | 0,34 | 0,45 | 0,41 | 0,11 | 0,11 |
| 17 | 0,54 | 0,42 | 0,39 | 0,14 | 0,13 |
| 18 | 0,76 | 0,46 | 0,49 | 0,23 | 0,12 |
| 19 | 0,62 | 0,57 | 0,34 | 0,15 | 0,22 |
| 20 | 0,49 | 0,44 | 0,51 | 0,09 | 0,14 |
| 21 | 0,37 | 0,27 | 0,36 | 0,07 | 0,13 |
| 22 | 0,16 | 0,25 | 0,36 | 0,02 | 0,09 |
| Eloperäiset maat | | | | | |
| 23 | 0,56 | 0,37 | 0,36 | 0,17 | 0,25 |
| 24 | 0,69 | 0,56 | 0,46 | 0,22 | 0,25 |
| 25 | 0,51 | 0,47 | 0,51 | 0,27 | 0,23 |
| 26 | 0,56 | 0,41 | 0,48 | 0,23 | 0,23 |
| 27 | 0,49 | 0,37 | 0,38 | 0,15 | 0,14 |
| 28 | 0,29 | 0,38 | 0,32 | 0,08 | 0,10 |
| 29 | 0,42 | 0,37 | 0,44 | 0,16 | 0,18 |
| 30 | 0,28 | 0,31 | 0,37 | 0,12 | 0,16 |

Liite 4. Rypsin sadot maan booritestaus -kokeessa (g/astia).

| Erä | Versot 1980 | | lehdet | Sato 1981 | | Varsisato 1982 | | Siemensato 1982 | |
|------------------------------|-------------|---------|--------|-----------|----------|----------------|---------|-----------------|---------|
| | 1. sato | 2. sato | | varret | siemenet | ilman B | B-lann. | ilman B | B-lann. |
| Savet | | | | | | | | | |
| 1 | 27,2 | 18,6 | 7,4 | 53,8 | 24,9 | 48,6 | 52,2 | 17,9 | 21,8 |
| 2 | 30,9 | 15,2 | 6,1 | 61,0 | 31,7 | 56,0 | 56,3 | 23,2 | 30,3 |
| 3 | 18,5 | 18,4 | 5,8 | 44,2 | 22,3 | 55,3 | 58,9 | 18,3 | 24,0 |
| 4 | 28,4 | 21,6 | 9,4 | 56,7 | 34,7 | 48,1 | 57,8 | 23,1 | 27,9 |
| 5 | 35,5 | 39,1 | 8,9 | 60,5 | 27,1 | 54,0 | 65,3 | 12,1 | 20,0 |
| 6 | 29,8 | 16,1 | 4,0 | 47,9 | 23,9 | 50,2 | 63,7 | 15,0 | 28,3 |
| 7 | 34,8 | 23,1 | 6,0 | 53,7 | 21,7 | 64,0 | 52,4 | 8,6 | 27,0 |
| 8 | 37,2 | 20,8 | 10,7 | 66,4 | 35,0 | 58,1 | 60,8 | 29,1 | 24,4 |
| Karkeat kivennäismaat | | | | | | | | | |
| 9 | 15,3 | 19,7 | 4,2 | 59,1 | 18,3 | 60,0 | 65,1 | 2,2 | 24,5 |
| 10 | 35,1 | 21,3 | 7,3 | 61,8 | 13,9 | 64,0 | 47,8 | 5,6 | 17,9 |
| 11 | 31,8 | 22,1 | 6,9 | 66,1 | 23,0 | 49,7 | 64,0 | 25,5 | 29,0 |
| 12 | 31,9 | 23,9 | 8,6 | 66,9 | 33,1 | 74,2 | 70,7 | 9,3 | 26,5 |
| 13 | 33,4 | 21,6 | 4,2 | 58,4 | 24,2 | 64,7 | 55,4 | 9,2 | 21,2 |
| 14 | 16,8 | 13,0 | 3,1 | 44,7 | 3,2 | 24,1 | 57,1 | 0,1 | 25,2 |
| 15 | 32,1 | 29,5 | 11,2 | 67,5 | 30,9 | 61,5 | 63,0 | 13,0 | 23,9 |
| 16 | 25,6 | 25,0 | 10,0 | 62,6 | 22,8 | 66,7 | 78,4 | 12,7 | 30,7 |
| 17 | 31,0 | 14,0 | 8,0 | 63,1 | 21,6 | 33,4 | 61,1 | 0,3 | 25,3 |
| 18 | 32,2 | 30,2 | 10,3 | 64,9 | 32,0 | 58,9 | 66,3 | 21,7 | 29,4 |
| 19 | 20,3 | 21,1 | 9,2 | 68,5 | 14,5 | 68,8 | 67,8 | 12,0 | 28,4 |
| 20 | 17,9 | 16,5 | 4,1 | 35,9 | 10,3 | 50,7 | 60,0 | 11,4 | 19,7 |
| 21 | 9,8 | 3,1 | 4,4 | 24,8 | 5,6 | 34,5 | 33,2 | 7,9 | 9,9 |
| 22 | 15,6 | 9,8 | 3,6 | 20,6 | 2,0 | 27,4 | 21,0 | 5,6 | 5,2 |
| Eloperäiset maat | | | | | | | | | |
| 23 | 39,8 | 31,8 | 6,1 | 58,8 | 26,5 | 73,7 | 73,3 | 8,0 | 29,3 |
| 24 | 35,2 | 21,7 | 4,4 | 56,6 | 30,0 | 76,6 | 61,7 | 5,5 | 30,0 |
| 25 | 30,8 | 23,9 | 5,7 | 64,0 | 15,1 | 63,1 | 57,3 | 3,2 | 25,6 |
| 26 | 29,4 | 17,1 | 5,4 | 47,8 | 2,7 | 64,5 | 57,3 | 0,4 | 25,4 |
| 27 | 37,8 | 29,4 | 11,2 | 61,3 | 5,5 | 27,8 | 68,4 | 0,2 | 29,3 |
| 28 | 27,1 | 15,4 | 18,2 | 22,3 | 0,2 | 46,5 | 79,9 | 0,0 | 30,6 |
| 29 | 30,1 | 20,0 | 11,8 | 51,0 | 0,5 | 53,0 | 75,4 | 0,1 | 33,6 |
| 30 | 32,2 | 9,7 | 10,5 | 48,4 | 1,4 | 56,7 | 86,5 | 1,0 | 24,6 |

Liite 5. Rypsin booripitoisuus maan booritestaus -kokeessa (mg/kg k.a.).

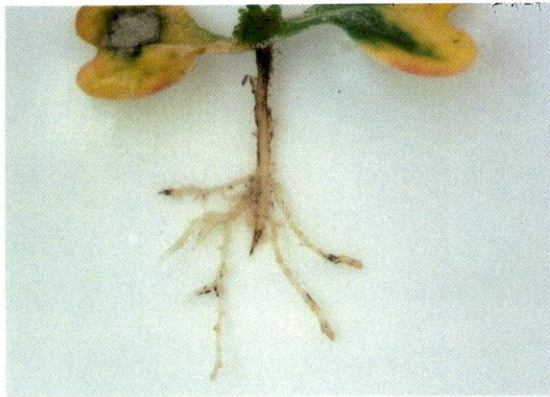
| Erä | Versot 1980 | | 1981 | 1981 | 1981 | 1981 | Taimet 1982 | | Varret 1982 | | Siemenet 1982 | |
|-----------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|----------|-------------|---------|-------------|---------|---------------|---------|
| | 1. sato | 2. sato | taimet | lehdet | varret | siemenet | ilman B | B-lann. | ilman B | B-lann. | ilman B | B-lann. |
| Savet | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 34 | 27 | 24 | 35 | 24 | 15 | 24 | 31 | 22 | 44 | 13 | 14 |
| 2 | 28 | 23 | 25 | 42 | 23 | 13 | 21 | 33 | 16 | 29 | 12 | 11 |
| 3 | 38 | 27 | 21 | 36 | 17 | 12 | - | 42 | 16 | 38 | 10 | 13 |
| 4 | 32 | 27 | 28 | 44 | 24 | 14 | 20 | 36 | 16 | 36 | 11 | 10 |
| 5 | 30 | 22 | 20 | 29 | 14 | 10 | 20 | 37 | 17 | 30 | 12 | 11 |
| 6 | 20 | 20 | 22 | 27 | 14 | 11 | 16 | 38 | 12 | 27 | 6 | 10 |
| 7 | 25 | 19 | 20 | 23 | 12 | 9 | 16 | 43 | 11 | 37 | 7 | 9 |
| 8 | 35 | 30 | 24 | 35 | 24 | 14 | 15 | 28 | 17 | 35 | 12 | 13 |
| Karkeat kivennäismaat | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 26 | 19 | 17 | 26 | 11 | 9 | - | - | 13 | 34 | 8 | 13 |
| 10 | 16 | 14 | 12 | 20 | 12 | 10 | - | 41 | 13 | 37 | 10 | 13 |
| 11 | 32 | 35 | 29 | 49 | 36 | 14 | - | 33 | 27 | 41 | 11 | 11 |
| 12 | 29 | 22 | 23 | 28 | 13 | 9 | - | 39 | 11 | 27 | 11 | 13 |
| 13 | 23 | 19 | 21 | 25 | 13 | 10 | 14 | 51 | 13 | 31 | 9 | 13 |
| 14 | 16 | 14 | 14 | 21 | 11 | 9 | 20 | - | 16 | 31 | - | 14 |
| 15 | 28 | 22 | 17 | 26 | 13 | 11 | 15 | 36 | 19 | 33 | 9 | 13 |
| 16 | 16 | 17 | 18 | 18 | 12 | 8 | 13 | - | 10 | 26 | 6 | 10 |
| 17 | 27 | 23 | 17 | 23 | 14 | 9 | 13 | 40 | 12 | 30 | - | 12 |
| 18 | 33 | 28 | 22 | 27 | 18 | 11 | 14 | 37 | 12 | 31 | 11 | 12 |
| 19 | 30 | 22 | 16 | 22 | 11 | 9 | 17 | - | 11 | 30 | 6 | 8 |
| 20 | 26 | 23 | 25 | 28 | 15 | 10 | - | - | 14 | 28 | 7 | 13 |
| 21 | 24 | 27 | 22 | 22 | 13 | 8 | - | - | 13 | 39 | 9 | 13 |
| 22 | 17 | 14 | 18 | 15 | 11 | 10 | - | - | 16 | 48 | 9 | 13 |
| Eloperäiset maat | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 30 | 17 | 13 | 22 | 12 | 11 | 7 | 32 | 10 | 27 | 9 | 12 |
| 24 | 31 | 23 | 21 | 29 | 14 | 12 | 11 | 30 | 10 | 27 | 8 | 12 |
| 25 | 19 | 17 | 15 | 23 | 13 | 9 | 12 | 38 | 12 | 26 | 8 | 12 |
| 26 | 21 | 17 | 19 | 23 | 13 | - | 17 | 51 | 10 | 22 | - | 12 |
| 27 | 12 | 12 | 11 | 20 | 12 | 9 | 13 | 40 | 13 | 24 | - | 12 |
| 28 | 12 | 11 | 9 | 10 | 13 | - | 19 | 48 | 11 | 23 | - | 11 |
| 29 | 11 | 13 | 14 | 18 | 12 | - | 16 | 46 | 11 | 24 | - | 11 |
| 30 | 11 | 14 | 14 | 15 | 12 | - | 16 | 37 | 11 | 27 | 9 | 14 |



Kuva A. Kalkin booripitoisuuden vaikutus vähäboorisella turpeella. Vasemmalta: kalkitsematon, puhdistettua kalkkia. Lohjan kalkkia (9 g B/t). Siikaisen kalkkia (102 g B/t). Takarivissä boorilannoitus.



Kuva B. Boorin puutteen takia kasvunsa lopettaneita, kuolevia rypsin taimia. Oikeassa yläkulmassa samanikäisiä normaalisti kasvavia taimia.



Kuva C. Ankarassa boorin puutteessa rypsin pääjuuri on kuollut ja sivujuuretkin ovat lyhyitä ja normaalia paksampia.



Kuva D. Vähäboorisella kalkitulla hiedalla kasvatteita rypsin taimia, keskimmäiset boorilannoitetuja.



Kuva E. Boorin puutteen hidastaessa varren pituuskasvua rypsikasvusto on kehittynyt ruusukemaiseksi. Vasemmalla boorilannoitettu kasvusto.



Kuva F. Boorin puutteen vaikutus unikon taimien kasvuun saraturpeella (0,28 mg B/l). Edessä keskellä oleva astia ilman boorilannoitusta.

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

1. Maatalouden tutkimuskeskuksen yksiköiden tiedotteet 1975-1982.
48 p.
2. KONTTURI, M. Mallasohra - kirjallisuuskatsaus. 42 p.
3. NORDLUND, A. & ESALA, M. Maatalouden sääpalvelut ulkomailla.
Kirjallisuustutkimus. 66 p.
4. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L.
Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1975-1982.
186 p. + 4 liitettä.
5. SUONURMI-RASI, R. & HUOKUNA, E. Kaliumin lannoitustason ja -tavan
vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin.
13 p. + 8 liitettä.
6. KEMPPAINEN, E. & HEIMO, M. Förbättring av stallgödselns
utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaiistorjunnassa. 26 p.
9. HEIKINHEIMO, O. Kirvojen preparointi ja määrittäminen. 67 p.
+ 12 liitettä.
10. SAARELA, I. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. p. 1-13.
- Humuspitoiset lannoitteet p. 14-20.
11. YLÄRANTA, T. Jordanalytiska metoder i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanniskasvien lajikekokeiden
tuloksia vuosilta 1979-82. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPES, G. Kylvöajankohdan vaikutus kevätkuivon, ohran
ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. 54 p.
14. ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys. ESPOO - INKOO. 26 p.
15. BREMER, K. Ydinkasvien tuottaminen kasvisolukkoviljelyn avulla. 63 p.

1984

1. Tiivistelmät eräistä MTTK:n julkaisuista 1983. 74 p.
2. ESALA, M. & LARPES, G. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimail-
la. 35 p.
3. ETTALA, E. Ayrshire-, friisiläis- ja suomenkarjalehmien vertailu
kotoisilla rehuilla. 7 p. + 18 liitettä.

4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1975-83. 22 p.
5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvihuonetomaatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuentamenetelmien vertailua. Sijoituslannoitus ja kasvualustan ilmastus kasvihuonekurkulla ja tomaattilla. 21 p.
6. VUORINEN, M. Italianraiheinä ja viljat tuorerehuna. 17 p.
7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja esikokeiden ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
8. HUOKUNA, E. & HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon muutokset säilörehuasteella. 54 p.
9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.
10. HAKKOLA, H. Kuonakalkituskoekokeiden tuloksia 1978-83. 42 p.
11. SIPPOLA, J. & SAARELA, I. Eräät maa-analyysimenetelmät fosforilannoitustarpeen ilmaisijoina. 20 p.
12. RAVANTTI, S. Terhi-punanata. 37 p.
13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Kolme ravinnesuhdetta Suomen maalajeissa. 10 p.
14. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., KERSALO, J. & NORDLUND, A. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1983. 101 p.
15. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1976-1983. 202 p. + 4 liitettä.
16. JUNNILA, S. Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien käyttäytymiseen maassa. Kirjallisuustutkimus. 15 p. + 4 liitettä.
17. PESSALA, R., HAKKOLA, H. & VALMARI, A. Kylvöajan merkitys porkkanan viljelyssä. 22 p.
18. NISULA, H. Uusimpia tuloksia Ruukin lihanautakokeista. 39 p.
19. SAARELA, I. Kevätöljykasvien boorilannoitus. 122 p + 2 liitettä.

