

*Maatalouden
tutkimuskeskuksen
julkaisuja*

S A R J A A

87

*Into Saarela,
Kimmo Kakkonen
ja Yrjö Salo*

**Savimaan fosforin
saatavuuden parantaminen
runsaalla kalkituksella
sekä ruokamullan ja
fosforin syvämultauksella**

*Into Saarela, Kimmo Kakkonen
ja Yrjö Salo*

Savimaan fosforin saatavuuden parantaminen runsaalla kalkituksella sekä ruokamullan ja fosforin syvämultauksella

**Improving the availability of phosphorus in clay
soils by heavy liming and by deep incorporation
of topsoil and phosphorus**

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-589-8

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Into Saarela, Kimmo Kakkonen ja Yrjö Salo

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339, sähköposti julkaisut@mtt.fi

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy, 2000

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen Joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, into.saarela@mtt.fi, kimmo.kakkonen@mtt.fi

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Alueellinen tutkimus. Lounais-Suomen tutkimusasema, Saarentie 220, 23120 Mietoinen, yrjo.salo@mtt.fi

Tiivistelmä

Avainsanat: lannoitus, fosfori, kalkitus, kasvianalyysi, maa-aines, maa-analyysi, happamuus, muokkaus, savi, pH, typpi

Savimaiden tavallista runsaammalla kalkituksella pyrittiin hyödyntämään niihin kertynyttä fosforia ja korvaamaan kallista ja vesistöjä rehevöittävä fosforilannoitusta kalkilla. Ruokamullan ja fosforilannoitteiden syvämultauksen tavoitteena oli parantaa kasvien fosforin saantia pitkien poutakausien aikana, jolloin ohuen kyntökerroksen ravinteet eivät ole maan kuivumisen takia kasvien saatavilla. Kuivien kasvukausien parempien satojen lisäksi syvämultauksella pyritään pienentämään hyvään kasvuun tarvittavaa maan pinnan fosforipitoisuutta ja vähentämään siten vesistöjen rehevöitymistä. Tehokalkituksen ja syvämultauksen vaikutuksia maahan ja viljelykasveihin tutkittiin monivuotisilla kenttäkokeilla.

Sekä kalkitus että fosforilannoitus suurenivat vilja- ja rypsisatoja, mutta kalkilla voitiin korvata fosforia merkittävästi vain Mietoissa, jossa koepaikka oli melko vähämultaista aitosavea. Tehokalkitus paransi kasvua myös Jokioisten hiuesavella, ja kuten Mietoissakin, myös fosforilannoituksen ollessa runsas. Tärkeäksi kasvun parantajaksi lievästi happamia savimaita neutraaleiksi kalkittaessa osoittautui kasvien typen

saannin paraneminen. Tutkimuksen mukaan vähämultaisten, jäykkien savimaiden pH-tavoite kannattaa nostaa vaateliaita viljalajikkeita viljeltäessä nykyisiä kalkitussuosituksia korkeammaksi eli suunnilleen seitsemään. Keskijäykällä savimailla nykyinen pH-tavoite 6,4 oli lähellä optimia.

Syvämultauskokeet osoittivat, että fosforilla rikastetun kerroksen syvyys on kasvien fosforin saannin kannalta tärkeä tekijä. Lannoitetun maan syventämien syväkynnöllä 32 cm:iin eli 1,45-kertaiseksi paransi fosforin saantia ja satoja kuivina kasvukausina, mutta suurensi maan eroosioherkkyttä ja heikensi hiukan satojakin saateisina kesinä. Hyvään kasvuun riittävä liukoisen fosforin pitoisuus maan pinnassa pieneni suunnilleen puolella matalaan muokattuun peltoon verrattuna, mutta samalla korostui kylvettäessä sijoitetun starttifosforin merkitys. Erikoisauralla tehty ruokamullan ja fosforin syvämultaus, jossa maan pintaan jäi yhtenäinen kerros alkuperäistä pintamaata, suurensi rutikuivan kasvukauden 1999 kaurasatoja merkittävästi ja tuotti täysiä satoja maan viljavuuteen verrattuna niukalla fosforilannoituksella.

Saarela, I.¹⁾, Kakkonen, K.¹⁾ & Salo, Y.²⁾ 2000. Improving the availability of phosphorus in clay soils by heavy liming and by deep incorporation of topsoil and phosphorus. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 87. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 51 p + 8 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-589-8.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Plant Production Research, Crops and Soil, FIN-31600 Jokioinen, Finland, into.saarela@mtt.fi, kimmo.kakkonen@mtt.fi

²⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Regional Research, Southwest Finland Research Station, Saarentie 220, FIN-23120 Mietoinen, Finland, yrjo.salo@mtt.fi

Abstract

Key words: liming, nitrogen uptake, phosphorus, fertilization, phosphorus uptake, plant analysis, soil acidity, soil analysis, soil phosphorus status, tillage depth, pH-target of clay soils

The possibility of using lime as a partial substitute for phosphorus fertilization was tested by applying higher rates of ground limestone than usual to clay soils to intensify utilization of the phosphorus reserves accumulated in the soil.

Deep incorporation of topsoil and phosphorus fertilizer was intended to improve the supply of phosphorus to plants during prolonged drought periods, when the nutrients in a thin dry topsoil are unavailable. In addition to securing better yields in dry seasons, deep incorporation decreases the concentration of phosphorus in the soil surface required for good plant growth, thereby lessening the eutrophication of waterbodies. The effects of heavy liming and deep incorporation on soils and crops were investigated by long-term field experiments.

Cereal and rapeseed yields were increased both by liming and by phosphorus fertilization, but the yield responses to applied phosphorus were significantly decreased only in a heavy clay soil rather poor in organic matter. Yields were also increased by heavy liming in loamy clay soils and, as in heavy clay, even with abundant application of phosphorus. The main agent involved in the growth improvement

caused by liming was apparently the greater supply of nitrogen to the crop. The results suggest that the target pH values of heavy clay soils low in organic matter should be around 7, which is higher than the present recommendation. The present target pH of loamy clays, 6.4, was close to the optimum.

Deep incorporation experiments showed that the depth of the layer enriched in phosphorus is a crucial factor for the supply of phosphorus to crops. Deepening the fertilized layer to 32 cm, or 1.45-fold, by deep ploughing improved the availability of phosphorus and increased the yields in dry seasons, but made the soil more prone to erosion and slightly decreased the yields in rainy seasons. The soluble phosphorus content in the soil surface sufficient for good plant growth was decreased by about 50% compared with shallow tillage, but the importance of starter fertilization was accentuated. Deep incorporation treatment with a special plough that leaves a continuous layer of the original topsoil in the soil surface increased oat yields substantially in the extremely dry season of 1999 and produced maximum yields with scanty phosphorus fertilization in relation to soil fertility.

Alkusanat

Savimaiden fosforin saatavuuden parantaminen tehokalkituksella ja fosforin syvämultauksella on osa vuosina 1995–1999 toteutettua yhteistutkimusta ”Pellon fosforitalouden parantaminen lannoitusmenetelmiä ja maan hoitoa kehittämällä”. Hanketta ovat rahoittaneet Maatalouden tutkimuskeskuksen ohella maa- ja metsätalousministeriö sekä Kalkitusyhdistys. Maanäytteiden analysointiin osallistuneet koti- ja ulkomaiset laboratoriot ovat vastanneet oman osuutensa kustannuksista itse. Esitän lämpimät kiitokseni tutkimushankkeen rahoittajille ja kaikille niille, jotka ovat ahertaneet hankkeen parissa koekentillä, laboratorioissa ja toimistoissa. Tässä julkaisussa selostettavien tutkimusten tekijöistä Into Saarela on vastannut yleisestä suunnittelusta ja julkaisun käsikirjoituksesta, Kimmo Kakkonen Jokioisten kokeiden hoidosta sekä yhdessä Ari Turtolan ja Jokioisten kartanoiden korjaamon kanssa syvämultausauran rakentamisesta. Yrjö Salo on vastannut Mietoisten kokeesta, joka perustettiin Jaakko Köylijärven johdolla.

Tässä julkaisussa selostettavien savimaiden tehokalkituksen ja fosforin syvämultauksen lisäksi samassa hankkeessa tutkittiin fosforin sijoituksen optimointia ja kehitettiin menetelmiä maan fosforivarojen tarkempaa tutkimista varten. Yhteistutkimus on jatkoa vuosina 1989–1994 toteutetulle hankkeelle ”Fosforilannoitustarpeen vähentäminen” sekä vuosina 1977–1994 tehdylle laajalle valtakunnalliselle tutkimukselle nimeltään ”Fosforilannoituksen porraskokeet”. Tavoitteena oli parantaa pellon fosforitaloutta sekä maatalouden että ympäristön kannalta tehostamalla maan ravinnevarojen ja lannoituksen hyväksikäyttöä, jotka molemmat ovat Suomen

maaperä- ja ilmasto-oloissa huonompia kuin eteläisemmissä maissa. Vuosina 1989–1994 fosforitutkimusten pääaiheita olivat ns. ohutkerrosdiffuusiotekniikkaan perustuvan uuden maan fosforinmääritysmenetelmän kehittäminen, ympäristöä kuormittavan nurmen pintalannoituksen vähentäminen sekä orgaanisten lannoitteiden, lannan ja puhdistamolietteen, fosforin saatavuuden selvittäminen.

Fosforin saatavuuden tutkimisessa käytettäviä maa-analyysimenetelmiä verrattiin kansainvälisenä yhteistyönä viidessä eri maassa sijaitsevien kuuden laboratorion kesken vuosina 1995–1998. Uusi diffuusiotekniikkaan perustuva lannoitefosforin liikkumisen kartoittamiseen soveltuva kolorigraafinen menetelmä keksittiin ja kehitettiin vuosina 1997–1999. Maa-analyysimenetelmien kehittämistä ja kalibrointia jatketaan, ja uusilla tekniikoilla tutkitaan fosforin ohella muitakin ravinteita, mm. maasta hitaasti vapautuvan kaliumin määrää ja saatavuutta.

Fosforin starttilannoitusta tutkittiin Jokioisissa vuosina 1986–1990 yhteistutkimuksena Juko Oy:n kanssa. Vuosina 1987–1989 hankkeeseen osallistuivat lisäksi Lounais-Suomen tutkimusasema, Kemira Oy ja Öljynpuhdistamo Oy. Vuodesta 1992 alkaen Jokioisissa on kehitetty tekniikkaa, jossa starttilannoite sijoitetaan siemenrivien viereen siipimäisillä lannoitevan- tailla. Kolmantena starttilannoitusmenetelmänä kokeiltiin siementen kylvöä pareittaisiin riveihin lannoiterivien viereen. Siemenriveihin sijoitettua starttifosforia ja muita kylvöannoitusmenetelmiä verrattiin vuosina 1997–1998 Jokioisissa sekä Lounais-Suomen ja Hämeen tutkimusase- milla.

Pellon fosforitalouden parantamisessa on mielestäni merkittävästi edistytty hankkeen aikana, mutta tuotetun tiedon soveltaminen käytännön maatalouteen ja ympä-

ristönsuojeluun edellyttää useiden aiheiden tutkimisen ja menetelmien kehittämisen jatkamista.

Jokioisissa heinäkuussa 2000

Into Saarela

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
1 Savimaan runsas kalkitus	8
1.1 Johdanto	8
1.2 Aineisto ja menetelmät	9
1.3 Tulokset ja tarkastelu	11
1.3.1 Maan viljavuus	12
1.3.2 Oraiden fosforin saanti ja kasvu	15
1.3.3 Sadon määrä ja laatu	16
1.3.4 Sadon fosfori ja typpi	21
1.3.5 Kalkituksen vaikutukset ja pH-tavoitteet	24
1.4 Yhteenveto ja päätelmät	28
2 Ruokamullan ja fosforin syvämultaus	29
2.1 Johdanto	30
2.1.1 Teoreettiset perusteet	30
2.1.2 Aikaisemmat tutkimukset	32
2.1.3 Alustavat havainnot	33
2.2 Aineisto ja menetelmät	35
2.2.1 Syvämultausaura	35
2.2.2 Koepaikat ja -käsittelyt	36
2.3 Tulokset ja tarkastelu	37
2.3.1 Maan pinnan fosforipitoisuus	37
2.3.2 Oraiden kasvu ja fosforin saanti	39
2.3.3 Sadon määrä ja laatu	41
2.3.4 Sadon fosfori ja typpi	42
2.3.5 Kalkituksen ja muokkaussyvyyden yhdysvaikutukset	43
2.3.6 Syvämultauksen vaikutus satoon kuivana kasvukautena 1999	44
2.4 Yhteenveto ja päätelmät	47
Kirjallisuus	48
Liitteet	

1 Savimaan runsas kalkitus

Happamuus heikentää kasvien fosforin saantia tehostamalla liukoisien fosforin liian lujaa pidättymistä maahan sekä häiritsemällä juurten kasvua ja ravinteiden ottoa. Aikaisempien tutkimusten mukaan runsas kalkitus on fosforin saannin kannalta ja muutenkin erityisen hyödyllistä savimailla, joiden pH-tavoitetta kannattasi mahdollisesti nostaa nykyisiä suosituksia korkeammaksi. Suurten kalkkimäärien vaikutuksia viljelymaahan sekä kasvien fosforin ja typen saantiin ja satoihin tutkittiin monivuotisilla kenttäkokeilla Mietoisissa ja Jokioisissa.

1.1 Johdanto

Haitallisen happamuuden poistaminen kalkituksella parantaa fosforin saantia kaikista maalajeista, kun juurten kasvu helpottuu ja juurisolujen aktiivinen ravintedenotto maanesteestä tehostuu. Jos pH-luku nousee korkeammaksi kuin kasvilajin ja -lajikkeen vaateliaisuus edellyttää, sen vaikutus fosforin saatavuuteen riippuu fosfaatti-ionien pidättymisen muutoksista, jotka vaihtelevat maan ominaisuuksien mukaan. Kaikilla tärkeimmillä suomalaisilla maalajeilla ohralla ja kauralla tehdyissä astiakokeissa fosforin saanti parani pH-luvun 6,5 yläpuolella savissa jyrkemmin kuin karkeammassa maassa (Saarela 1990a, Saarela & Sippola 1987, 1990). Eloperäisillä mailla kalkki useimmiten tehosti fosforin pidättymistä maa-ainekseen ja vaikeutti sen saantia. Tällöin heikkeni myös kasvu, ellei happamuus ollut selvästi liiallista. Fosforin saanti saattaa kalkittaessa huonontua merkittävästi myös karkeissa kivennäismaissa, kuten tapahtui MTT:n astiakokeessa perunalla vuosina 1997 ja 1998 (Saarela 1999). Pitkän ajan kuluessa kalkki voi edistää fosforin saantia myös turvemaista, kuten julkaisemattomien koetulosten mukaan

näyttää tapahtuneen Pohjois-Pohjanmaalla 41-vuotisessa saraturpeen kalkitus- ja lannoituskokeessa vuonna 1967 eli viimeisenä koevuonna, jolloin koekasvina oli happamuutta sietävä timotei. Aikaisemmin kalkki oli tässä kokeessa hyödytöntä timoteilla ja kauralla haitallista (Anttinen 1959, Lakanen 1971). Kauran olkien ravinneanalyysien mukaan sen kasvun heikkeneminen saattoi osittain johtua myös orasvaiheen kuparin puutteesta, joka korjautui juurten kasvaessa syvemmälle maahan eikä siten estänyt jyvien kehittymistä.

Astiakokeet osoittivat, että viljavuustutkimuksessa helppoliukoisien fosforin määrittämisessä käytettävä hapan ammoniumasettaatti-menetelmä osoittaa kasvien fosforin saantia ainakin hienoista kivennäismaista parhaiten silloin, kun pH-luvut ovat lähellä neutraalia. Happamien maiden fosforipitoisuudet voitiin muuntaa vertailukelpoisiksi pienentämällä niitä pH:n, maalajin ja multavuuden mukaan lasketuilla kertoimilla (Saarela 1992, Saarela et al. 1995). Laboratoriokokeella todettiin, että maanesteen fosforin tasapainokonsentraatio suurenee runsaalla kalkituksella savissa jyrkemmin kuin muissa maalajeissa (Saarela 1990a, Sippola & Saarela 1992). Savessa kalkki suurensi myös korkeita fosforin tasapainokonsentraatioita, mutta karkeissa maissa se päinvastoin tehosti fosforin pidättymistä väkevästä liuoksista.

Savimaiden osalta astia- ja laboratorionkokeet tukevat Lakasen ja Vuorisen (1963) monivuotisten laboratorionkokeiden tuloksia, joiden mukaan fosforin saatavuuden optimi-pH on yli seitsemän. Todennäköinen selitys fosforin erityisen runsaaseen liukenemiseen savesta on sen pienten hiukkasten suuri ja enimmäkseen epäorgaaninen pinta-ala, jolta pH:n noustessa irtoaa fosfaatti-ioneja enemmän kuin suurten hiukkasten vähemmiltä ja eloperäisten hiukkasten orgaanisilta pinnoilta. Savimaalla kasvien fosforin otto ja maan liukoisien fosforin pitoisuus voivat suurentua samanaikaisesti, mutta muilla maalajeilla fosforin otto lisääntyy paljolti maan liukoisien fosforin kustannuksella (Saarela & Sip-

pola 1987, Saarela 1990a, Hiivola 1991, Kemppainen et al. 1993).

Aikaisemmissa suomalaisissa tutkimuksissa suuret kalkkimäärät ovat olleet viljan ja nurmen viljelyssä edullisia savimailla, mutta huonompia hiesuilla, ja turvemail-la selvästi epäedullisia (Jaakkola et al. 1977). Jopa niinkin varovainen kalkitus kuin 11 t/ha yhteensä yli 30 vuoden aikana, joka nosti saraturpeen pH-lukua puolella yksiköllä eli 5,0:sta 5,5:een, on vaikeuttanut kauran fosforin saantia ja pienentänyt sen satoa (Anttinen 1959, Lakanen 1971), mikä saattoi johtua myös muista syistä kuin fosforin puutteesta. Suuri annos puun tuhkaa paransi kasvua ja fosforin saantia tehokkaasti Jokioisten savella mutta ei multamaalla (Saarela 1989, 1991a, 1998). Ruotsissa lähinnä maan rakenteen parantamiseksi käytetyt ylisuuret kalkkimäärät, jotka vastasivat 80 t/ha kalkkikivijauhetta, suurensivat satoja varsinkin savimailla jopa ennestään täysin neutraaleilla pelloilla (Simán et al. 1982). Karkeissa maissa liiallinen kalkitus voi vääristää ravinesuhteita ja aiheuttaa mangaanin ja muiden hivenravinteiden puutetta (Saarela 1991b) ja heikentää myös fosforin saantia (Hylander 1995, Saarela 1999). Savimailla runsaasta kalkituksesta ei ole odotettavissa merkittäviä haittoja, ei ainakaan hyvin jäykällä ja melko vähämultaisilla lohkoilla, joiden pintamaan painosta on savesta vähintään kymmenen kertaa niin paljon kuin orgaanista ainesta.

Eräillä alueilla Keski-Euroopassa savimaita on perinteisesti pidetty jatkuvasti kalkkipitoisina (vesi-pH yli 7,5), mutta karkeiden ja runsasmultaisten kivennäismaiden pH-tavoitteet ovat jopa yli kaksi yksikköä pienempiä (Visser 1938, Schachtschabel 1976, Finck 1992). Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa useimmille peltokasveille riittäväksi maan pH-luvuksi on arvioitu aikaisempien tutkimusten mukaan vajaa kuusi ((Öien 1978, Jaakkola 1982, Stålberg 1982). Happamuuden suhteen vaatimattomien nurmikasvien pH-vaatimuksena on pidetty niinkin alhaista lukua kuin 5,5 (Aura 1985). Nurmiheinien on todettu kasvavan hyvin jopa pH:ssa 5,3

(Hakkola 1991). Uudemmat suomalaiset tutkimukset ovat antaneet samansuuntaisia tuloksia, mutta savimailla happamuudelle arkojen ohralajikkeiden sadot ovat suurentuneet myös ennen kalkitusta mitattujen maan pH-lukujen ylittäessä kuusi (Kemppainen et al. 1993). Köylijärven (1991) mukaan savimailla riittää kauralle, rukiille, kevätrypsilille ja vaatimattomille ohralajikkeille pH-luku 5,6, mutta syys- ja kevätevehnä sekä useimmat ohralajikkeet kasvavat kunnolla vasta pH 6,0:ssa ja vaateliaat ohralajikkeet pH 6,3:ssa.

Ruotsissa on suoritettu viime vuosikymmeninä laajoja monivuotisia kenttäkoesarjoja, joissa kaikissa on ollut mukana myös kalkitus 100 prosentin emäskyllästysasteeseen eli pH-lukuun 7,0. (Haak & Simán 1992 ja 1997, Haak 1993). Kalkkia on levitetty tarvittaessa jopa yli 40 t/ha. Edullisimmaksi maan emäskyllästysasteeksi viljoilla, öljykasveilla ja nurmilla on osoittautunut 70 %, joka keskimäärin vastaa pH-lukua 6,2. Korkeammalla pH-tasolla sadot eivät sanottavasti suurentuneet, mutta nopeutunut emäskationien huuhtoutuminen lisäsi ylläpitokalkituksen tarvetta ja kustannuksia, ja joillakin koepaikoilla sadotkin pienenevät (Haak & Simán 1997). pH-luvun kasvun myötä nopeutunut huuhtoutuminen on suurentanut ylläpitokalkituksen tarvetta selvästi myös Englannissa (Rowell 1988). Pitkäaikaisissa suomalaisissa lannoituskokeissa melko korkeatkin maan pH-luvut ovat laskeneet hyvin hitaasti (Saarela et al. 1995). Maamme pitkä talvi ja kasvukauden viileydestä johtuva orgaanisen aineen hidas hajoaminen ja typen vähäinen nitrifioituminen sekä runsas pintavalunta ilmeisesti vähentävät emäksisten aineiden huuhtoutumista maan läpi suotautuvan veden mukana.

1.2 Aineisto ja menetelmät

Savimaan runsaan kalkituksen vaikutuksia tutkittiin kolmessa kentäkokeessa (Taulukko 1.1). Mietoisten koe perustettiin aitosavimaalle vuonna 1991 ja Jokioisten ko-

Taulukko 1.1. Fosforilannoitus-kalkituskokeiden maan viljavuus sekä orgaanisen aineen ja saveksen pitoisuus. # = analysoitu kerroksesta 25–40 cm otetuista näytteistä, α = vuodesta 1980 ilman fosforilannoitusta viljellyt ruudut (lannoituksen vaikutus esitetty taulukossa 1.4) ea = ei analysoitu.

Maalaji, sijainti	Syvyys cm	pH (vesi)	P mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Org. aine %	Saves %
Aitosavi, Mietoinen	0–25	6,2	4,6	1674	573	320	3,8	63
	25–40	6,5	0,8	1550	980	290	1,6	77
Hiuesavi I, Jokioinen	0–20	6,1	4,1	2060	491	196	4,5	48
	25–40	6,2	1,1	2130	1257	210	1,5	60
Hiuesavi O, Jokioinen	0–20	6,7	31,5α	2920	357	261	4,7	43
	20–30	6,9	6,0	2830	789	247	1,6#	54#
	30–40	7,0	1,0	3040	1280	221	1,6#	54#
	40–60	7,3	0,8	2730	1420	205	ea	ea

keet hiuesavilohkoille vuosina 1993 (hiue-savi I = Ilolan koe) ja 1995 (hiuesavi O = Ojaisten koe). Jälkimmäisessä seurataan samalla vuosina 1980 ja 1998 levitetyn kalkin sekä vuonna 1980 aloitetun fosforilannoituksen jälkivaikutuksia. Jokioisten Ojaisten koe oli lähes neutraali (taulukon 1.1 viljavuusluvut ovat kalkitsemattomilta ruuduilta) ja muutkin melko lievästi happamia. Kalkituksen tavoitteena oli pH-lukujen nostaminen portaittain noin seitsemään. Maan liukoisen fosforin pitoisuus oli Ojaisten kokeessa korkea, muilla koepaikoilla saville tyypillisesti melko alhainen.

Mietoisten aitosavimaalla (Liite 1.1) oli pääruuduissa kolme kalkitustasoa: 0 ja 16 ja 40 t/ha yhteensä vuosina 1991 ja 1993, joista 12 ja 30 t/ha levitettiin keväällä 1991 sekä 4 ja 10 t/ha keväällä 1993. Y-lannoksina annettuja fosforimääriä oli vuosina 1991–1993 (osaruuduissa) kolme, ja vuodesta 1994 lähtien (osa- ja osa-osaruuduissa) kuusi. Vuosina 1996–1998 tutkittiin aikaisemman fosforilannoituksen jälkivaikutusta toistamalla osa-osaruutujen käsittelyt ja täydentämällä keskimmaista alkuperäisistä fosforimääristä vuonna 1997 superfosfaatilla. Koekasvina oli viitenä vuonna kaksitahoinen ohra, kahtena kevätvehnä ja yhtenä kevätrypsi. Koetta viljeltiin tavanomaisella tekniikalla ja perusmuokkauksena oli syyskyntö. Tyypeä annettiin vuosittain liitteen 1.5 mukaisesti 90–120 kg/ha, keskimäärin 113 kg/ha.

Jokioisten Ilolan osa-osaruutukokeen (Liite 1.2) ensimmäisen asteen osaruudussa oli kolme pH-tasoa (tavoite 6,1, 6,5 ja 7,0), joiden kalkkimäärät vaihtelivat kolmantena tekijänä pääruuduissa tutkitun muokkaussyvyyden mukaan. Matalalla 12 cm:n muokkauksella kalkkia levitettiin 6 ja 15 t/ha (lisäksi 6 ja 6 t/ha talvella 1998), normaalilla 22 cm:n kynnyllä 10 ja 24 t/ha (12 ja 15 t/ha 1998) sekä 32 cm:n syväkynnyllä 15 ja 36 t/ha (6 ja 0 t/ha 1998). Toinen levitys tarvittiin pH-lukujen nostamiseksi tavoitteeseen. Kokeen alussa kesällä 1993 kalkki levitettiin kolmannen vuoden nurmelle ja mullattiin jyrsimellä. Kynnytyille ruuduille noin puolet kalkista levitettiin kynnyksen jälkeen ja mullattiin jyrsimellä noin 10 cm:n syvyyteen yhdessä peruslannoitteeksi levitetyn superfosfaatin (200 kg P/ha) kanssa. Kylvettäessä sijoitettiin fosforia N-, NK- ja NPK-lannoitteissa osa-osaruuduille vuosittain 0 ja 15–33 kg/ha. Vuosina 1995 ja 1996 verrattiin lisäksi kylvölannoitusmenetelmiä puolittamalla ruudut vielä kertaalleen.

Syksyllä 1993 Ilolan kokeeseen kylvettiin syysvehnä, jonka talvituhoja paikattiin keväällä kylvetyllä aikaisella ohralla. Ohran siemeniä sijoitettiin teroitetuilla kylvölannoittimen lannoitevantailla muokkaamattomaan maahan 25 cm:n riviväleihin 100 kg/ha. Siemeniin sekoitettiin starttilannoitteeksi oulunsalpietaria 50 kg/ha. Syksyllä 1994 perusmuokkaukset (12, 22 ja 32 cm)

toistettiin. Syksyllä 1995 koko koealue kultivoitiin kertaalleen noin 10 cm:n syvyyteen ja syksyllä 1996 ja 1997 se jyrssiin kylvösyvyyteen, lukuun ottamatta alussa normaalisti kynnettyä, joka käsiteltiin syksyllä 1997 syvämultauslaitteella. Vuonna 1995 koekasvina oli kevävehnä, 1996 kevätrypsi, 1997 kevävehnä ja 1998 ohra. Kerranteita kokeessa oli kolme kullakin muokkauksella eli jokaisella pH-tasolla yhdeksän. Typpeä annettiin syysvehnälle vuonna 1993/94 31 + 110 kg/ha ja muina vuosina liitteen 1.7 mukaisesti 100–120 kg/ha, keskimäärin 118 kg/ha. Rypsin taimille ruiskutettiin solubooria tuholaistorjunnan yhteydessä kahdella kerralla yhteensä kaksi kiloa hehtaarille (0,2 + 0,2 kg B/ha).

Jokioisten Ojaisille vuonna 1980 perustetussa fosforilannoitus-kalkituskokeessa (Liite 1.3) kalkitustasot 0 ja 10 t/ha kalkikivijauhetta olivat pääruutujen tekijänä. Keväällä 1994 koko kokeeseen levitettiin kalkkia 4 t/ha. Keväällä 1995 alkujaan 24 metrin pituiset pääruudut puolitettiin kahdesta kerranteesta levittämällä niiden toiseen päähän kalkkia 10 t/ha. Erilaisia kalkituskäsittelyjä tuli siten kaikkiaan neljä. Kevättalvella 1998 alkuperäistä kalkitusta täydennettiin kuudella tonnilla kalkkikivijauhetta hehtaarille. Kokeen osaruutujen käsittelyinä olivat vuosina 1980–1989 ja 1996 superfosfaattina annetut fosforilannoitukset 0 ja 10 kertaa 60 kiloa + kerran 90 kiloa, yhteensä 690 kiloa fosforia hehtaarille. Vuodesta 1993 alkaen 4 metrin levyiset fosforilannoitusruudut jaettiin osa-osaruutuihin antamalla kylvettäessä fosforia NK- ja NPK-lannoksena 0 ja 14–33 kg/ha. Näiden tässä julkaisussa tarkasteltavien käsittelyjen lisäksi kokeessa verrattiin vuonna 1998 erilaisia kylvölannoitustekniikoita osa-osaruuduilla. Vuosina 1993 ja 1994 puolet pääruutujen pituudesta jyrssiin matalaan ja puolet kynnettiin normaalisyvyyteen. Syksyllä 1995 syysvehnä kylvettiin jyrssiin sänkeen kevyillä lautasvantailla. Syksyllä 1996 osa kokeesta käsiteltiin syvämultauslaitteella. Muut käsittelyt sijoitettiin kokeeseen siten, että kaikki kalkitus- ja fosforilannoituskäsittelyt olivat

niiden suhteen aivan samanlaisia. Vuonna 1994 Ojaisten kokeessa viljeltiin kevävehnää, 1995 ohraa, 1996 syysvehnää sekä 1997 ja 1998 kevätrypsiä. Typpeä käytettiin vuosittain liitteen 1.8 mukaisesti 110–133 kg/ha, keskimäärin 121 kg/ha. Keväällä 1997 ruiskutettiin maahan ennen kylvömuokkausta solubooria viisi kiloa hehtaarille (1,0 kg B/ha).

Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutusta maan viljavuuteen tutkittiin tavanomaiseen tapaan kyntökerroksesta ja muista syvyyksistä otettujen maanäytteiden avulla. Maanäytteistä määritettiin pH-luku ja liukoisen fosforin pitoisuus sekä muut ravinteet viljavuustutkimuksessa käytettävillä menetelmillä: pH mitattiin vesiliitteestä ja helppoliukoiset ravinteet määritettiin happamalla ammoniumasetaatilla uutamalla. Sadoista määritettiin ravinnepitoisuudet ja ulkoinen laatu. Kasvien fosforin ja typen sekä muiden ravinteiden saantia seurattiin orasnäytteistä tehdyillä kemiallisilla analyyseillä. Koetekijöiden vaikutukset ovat varianssianalyysin F-arvon mukaan yhdellä tähdellä merkittyinä tilastollisesti merkitseviä (luotettavuus 95–99 %), kahdella tähdellä hyvin merkitseviä (99–99,9 %) ja kolmella tähdellä erittäin merkitseviä (yli 99,9 %). Kirjaimet *em* tarkoittavat merkitsevän vaikutuksen ja viiva (–) testin puuttumista.

1.3 Tulokset ja tarkastelu

Kalkitus suurensi odotusten mukaisesti maan pH-lukua ja vaihtuvan kalsiumin pitoisuutta sekä myös johtolukua eli maanesteen suolapitoisuutta. Johtoluvun kasvu osoittaa emäksisten aineiden huuhtoutumisen nopeutuneen pH-luvun noustessa, mutta viittaa myös mururakenteen stabiloitumiseen. Maan liukoisen fosforin pitoisuus kasvoi pH-luvun myötä, ja fosforin saannin paraneminen varmistui myös oraiden kasvun ja fosforin oton sekä jyväsatojen ja niiden sisältämän fosforimäärän perusteella. Jyväsatojen typpipitoisuuden muutokset osoittivat runsaan kalkituksen

Taulukko 1.2. Vuosina 1991 ja 1993 levitetyn kalkin ja kylvettäessä sijoitetun fosforin vaikutus Mietoisten aitosaven viljavuuteen syksyllä 1996. Fosforilannoituksen vasen luku tarkoittaa osaruudun keskimääräistä lannoitusta v. 1991–1996 ja oikea luku osa-osaruudun keskimääräistä lannoitusta v. 1994–1996. x = fosforilannoitus- ja kalkituskäsittelyjen keskiarvot.

Kalkkia t/ha	Liukoinen fosfori (mg/l) P-lannoituksella						x	pH (vesi)	Johtoluku	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l
	0+0	0+13	7+0	7+13	17+0	17+13						
0	4,6	5,6	4,9	5,7	5,8	6,6	5,5	6,32	0,53	1847	643	310
16	6,0	6,6	6,4	6,5	7,5	9,2	7,0	6,99	0,71	2576	610	301
40	7,3	7,4	8,9	8,9	9,2	10,1	8,6	7,37	1,02	3488	595	298
x	6,0	6,5	6,7	7,0	7,5	8,6	7,0					
Merk.	P-lann.***		Kalkitus *	Kalk x P-lann –			Kalk. ***	***	***	–	–	–

parantaneen kasvien typen saantia, jolla näytti olevan osuutta kalkituksen aiheuttamissa sadonlisäyksissä.

1.3.1 Maan viljavuus

Kalkitus suurensi liukoisin fosforin pitoisuutta Mietoisten aitosavessa noin puoli-toistakertaiseksi sekä kohotti pH-lukua, kalsiumpitoisuutta ja johtolukua (Taulukko 1.2). Kun kalsiumia lisättiin kyntökerrokseen maalitraa kohti 16 tonnissa 2500 mg ja 40 tonnissa 6400 mg, maa-analyyseissä näkyvät kalsiumpitoisuuden lisäykset, 729 ja 1641 mg/l, ovat niistä 29 ja 26 %. Vastaavat pH-luvun muutokset, +0,67 ja +1,05

yksikköä, ovat kymmentä kalkkitonnia kohti 0,42 ja 0,26 yksikköä. Jokioisten Ilolan kokeesta (hiuesavi I) maanäytteet otettiin syksyllä 1995 pinnasta muokkaussyvyyteen (12–32 cm) ja syksyllä 1997 pinnasta 10 cm:n syvyyteen. Tässä hiukan kevyemmässä, multavammassa ja happamammassa maassa kalkitus suurensi liukoisin fosforin pitoisuutta käytettyihin kalkkimääriin nähden jokseenkin yhtä tehokkaasti kuin Mietoisten aitosavella (Taulukko 1.3). Fosforilannoituksen 0-ruuduissa fosforiluvut suurensivat kalkilla kuitenkin vähemmän kuin muissa.

Lakasen ja Vuorisen (1963) 6-vuotisessa laboratorioskokeessa hyvin niukkafosforisen

Taulukko 1.3. Vuonna 1993 levitetyn kalkin ja superfosfaatin (200 kg P/ha) sekä vuosittain sijoitetun fosforin vaikutus Jokioisten Ilolan hiuesaven viljavuuteen syksyllä 1995 ja 1997. Syksyllä 1995 näytteet otettiin pinnasta muokkaussyvyyteen, syksyllä 1997 pinnasta 10 senttimetrin syvyyteen. # = normaalilla 22 kynnöllä käytetyt kalkkimäärät, 12 cm:n muokkauksella määrät olivat 6 ja 15, 32 cm:n muokkauksella 15 ja 36 t/ha. x = fosforilannoitus- ja kalkituskäsittelyjen keskiarvot.

Vuosi	Kalkkia t/ha#	Liukoinen fosfori (mg/l) P-lannoituksella					x	pH (vesi)	Johtoluku	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l
		0	23/v	200–93	200+23							
1995	0	2,9	3,8	6,1	6,2	4,7	6,07	0,68	1996	342	203	
	10	3,2	4,2	6,2	7,3	5,2	6,39	0,82	2470	345	197	
	24	3,6	4,5	6,7	9,9	6,2	6,64	1,40	3163	326	192	
	x	3,3	4,2	6,3	7,8	5,4						
Merk.		P-lann.***	Kalkitus *	P x kalk –		Kalk	***	**	***	–	–	
1997	0	3,7	4,8	5,1	7,8	5,3	5,98	0,39	1848	456	246	
	10	4,1	5,9	6,9	8,2	6,3	6,40	0,46	2366	462	239	
	24	4,5	6,9	7,8	10,9	7,5	6,83	0,58	3039	421	232	
	x	4,1	5,9	6,6	9,0	6,4						
Merk.		P-lann.***	Kalkitus *	P x kalk –		Kalk.	***	***	***	**	*	

Taulukko 1.4. Vuosina 1980, 1995 ja 1998 levitetyn kalkin sekä fosforilannoituksen vaikutus Jokioisten Ojaisten hiuesaven viljavuuteen syksyllä 1991, keväällä 1995, syksyllä 1996 ja syksyllä 1998. Vuoden 1995 näytteet otettiin ennen kalkin levitystä. Syksyllä 1996 näytteet otettiin 0–8 cm:n syvyydestä, mihin kalkki mullattiin. Merkinnät Ca0 ja Ca10 + 6 osoittavat vuosien 1980 ja 1998 kalkituksia 0 ja 10 + 6 t/ha. P1-käsittelyssä vuosina 1980–1989 fosforia 60 kg/ha/v (yht. 600 kg/ha) ja v. 1996 syksyllä 90 kg/ha. # = vuonna 1995 kalkitus kahdelle neljästä kerranteesta ja vuoden 1998 kerrosnäytteet otettu vuosina 1980 ja 1998 kalkituista käsittelyistä vain kahdesta kerranteesta.

Vuosi	Kalkkia 1995 t/ha	Syvyyys cm	Fosfori, P mg/l				pH (vesi)		Johtoluku		Kalsium, Ca mg/l	
			Ca0	P1	Ca10+6	P1	Ca0	Ca10+6	Ca0	Ca10+6	Ca0	Ca10+6
1991		0–20	31,5	41,6	46,0	63,9	6,7	7,0	0,6	0,5	3020	3530
		20–30	6,0	11,7	11,5	7,4	6,9	7,1	0,4	0,4	2900	3040
		30–40	1,0	1,5	1,3	1,2	7,0	7,2	0,4	0,3	2980	3080
		40–60	0,8	0,9	0,8	0,9	7,3	7,3	0,4	0,3	2740	2710
1995	0	0–8	34,5	35,1	42,2	63,5	6,4	6,7	0,9	1,0	2830	3450
	(10)	0–8	29,9	38,0	40,8	61,5	6,5	6,7	0,8	0,7	2890	3430
1996	0	0–8	30,5	33,6	43,2	64,5	6,5	6,8	0,7	0,8	2970	3810
	10	0–8	37,9	43,6	39,3	69,0	7,2	7,3	1,1	1,1	5220	5490
1998	0	0–4	33,4	48,0	47,3	59,1	6,6	7,2	2,3	3,4	2950	6670
	0	4–8	28,2	41,1	43,0	48,1	6,3	6,7	1,6	2,2	2840	3630
	0	8–12	29,0	43,7	42,4	53,8	6,5	6,9	1,6	1,9	2910	3340
	10#	0–4	(41,0		45,0		7,2	7,4	2,4	3,1	3870	9070)
	10	4–8	(35,0		39,0		7,2	7,2	2,2	2,6	3650	4220)
	10	8–12	(31,0		39,0		6,8	7,2	1,7	2,1	3070	3780)
	0#	12–20	33,7	38,9	(41,8	47,7	6,7	7,1	1,6	1,8	3050	3470)
	0	20–28	26,0	17,3	(42,9	18,4	6,7	7,1	1,5	1,9	2840	3390)
	0	28–36	2,9	2,1	(2,9	1,2	7,0	7,2	1,8	2,0	2890	3260)
	0	36–44	1,1	1,0	(1,1	1,0	7,1	7,2	1,8	2,2	2990	3160)

aitosaven pH-luvun nostaminen kalsiumkarbonaatilla 6,4:stä yhdellä yksiköllä suurensi helppoliukoisen fosforin pitoisuuden jopa nelinkertaiseksi eli 0,6:sta 2,4 mg:aan litrassa ja liejuisella aitosavella yli kaksinkertaiseksi eli 1,6:sta 4,3 mg:aan. Jälkimmäisessä aitosavessa fosforin liukoisuus pieneni pH-välillä 5,2–5,8, mutta suureni jyrkästi pH-välillä 6,5–7,3. Ilolan kokeessa saavutetut pH-luvut (Taulukko 1.3) eivät näytä olleen fosforin liukoisuuden kannalta vielä optimaalisia ainakaan tutkimuksessa käytetyn asetaattimenetelmän mukaan.

Kalkitus suurensi edelleen myös Jokioisten Ojaisten kokeen (hiuesavi O) korkeita uuttuvan fosforin pitoisuuksia. (Taulukko 1.4). Maasta analyysissä uuttuneen kalsiumin pitoisuus kasvoi kummallakin kalkitustasolla noin 30 % lisätyn kalsiumin määrästä ja pH-luvut kasvoivat 0,42 ja 0,40

yksikköä kymmentä kalkkitonnia kohti. Mietoisten kokeessa pH-luku oli kasvanut niin suureksi, että kaikki kalkki ei ilmeisesti liuennut viidessä vuodessa eivätkä viimeiset tonnit siten vaikuttaneet vielä täydellä tehollaan. Jokioisten Ojaisilla vuonna 1980 levitetty kalkki suurensi pH-lukua hiukan vähemmän kuin muilla kentillä, mikä johtui ilmeisesti korkeasta alkupH:sta ja sen vähittäisestä tasoittumisesta käsittelyjen välillä 15 vuoden kuluessa. Koe vahvistaa kuitenkin aikaisemmat havainnot siitä, että runsas kalkitus vaikuttaa maahan ja satoihin tehokkaasti useita kymmeniä vuosia. (Köylijärvi 1966, Keränen & Honkavaara 1972, Hiivola 1991).

Ellei peltoon lisätä ammoniumtyypeä tai muita happamia aineita eikä kationeja poistu runsaasti sadon mukana, lievästikin happamien maiden pH-luvut laskevat Suo-

men oloissa aika hitaasti (Saarela et al. 1995). Runsaalla kalkituksella suurentuneet maanäytteiden johtoluvut (Taulukot 1.2–1.4) kuitenkin osoittavat epäorgaanisten suolojen huuhtoutumisen nopeutumisesta ja varsinkin kalsiumin runsaampaa liikkumista vetykarbonaatti-anionien kanssa (Bertilsson 1987). Johtolukujen kasvu näyttää nopeutuvan jyrkästi vasta pH-luvun noustessa lähelle seitsemää. Savimaiden kalkkitilan pitäminen lähes neutraalina näyttää siten lisäävän ylläpitokalkituksen tarvetta vielä aika vähän siitä, mitä tarvitaan estämään paljon alhaisempien pH-lukujen lasku.

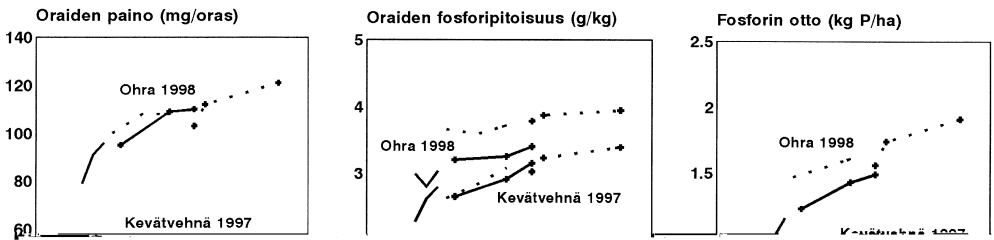
Ruotsissa 100 prosentin emäskyllästysasteen (pH 7,0) ylläpitoon kalkkia on kuitenkin tarvittu kalsiumoksidiksi laskettuna jopa 374 kg/ha/v (Haak & Simán 1992), mikä vastaa noin 750 kiloa kalkkikivijauhetta, vaikka 70 prosentin emäskyllästysasteen (pH noin 6,2) ylläpitoon kului kalkkikivijauhetta vuosittain hehtaaria kohti vain runsaat 200 eli 540 kg/ha vähemmän.

Englannissa ylläpitokalkituksen tarpeen on laskettu pH-välillä 5,5–7,5 lähes kaksinkertaistuvan yhtä pH-yksikköä kohti ja kalkin huuhtoutuminen on ollut vielä runsaampaa kuin Ruotsissa (Rowell 1988). Saksassa hienojen kivennäismaiden vuotuisen ylläpitokalkituksen tarve on kalkkikivijauheena niinkin korkea kuin 800–1000 kg/ha (Schachtschabel 1976).

Jokioisten Ojaisten kokeessa 15 vuotta aikaisemmin levitetty kalkki suurensi selvästi myös jankon pH-lukua ja jonkin verran johtolukuakin (Taulukko 1.4). Tehokalkitusta ruokamullasta huuhtoutuva kalkki ei mene välttämättä hukkaan, vaan saattaa parantaa syvempien kerrosten viljavuutta ja edistää vaatelioiden kasvien juurten syvyyskasvua ja parantaa niiden poudankestävyyttä. Ojiin ja vesistöihin valuvan veden neutralointi saattaa olla edullista happamille vesistöille. Johtoluvun osoittama maanesteen suolaväkevyyden kasvu yleensäkin ja erityisesti kalsiumpitoisista maanparannusaineista liukenevilla

Taulukko 1.5. Iolan hiesavimaimalle vuonna 1993 levitetyn superfosfaatin (0 ja 200 kg P/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin sekä vuonna 1993 levitetyn kalkin (0, 10 ja 24 t/ha) vaikutus oraiden kasvuun ja fosforin saantiin vuosina 1997 ja 1998. Oraiden paino tarkoittaa 15–20 kuivan kasvin keskipainoa, oraiden P niiden kuiva-aineen fosforipitoisuutta. Fosforin otto on laskettu kasvien painon ja fosforipitoisuuden sekä kasvuston tiheyden mukaan. x = fosforilannoitus- ja kalkituskäsittelyjen keskiarvot.

Vuosi	Kasvi		P-lann. (kg/ha)		Kalkitus, tn/ha				Kalkitus, t/ha				Kalkitus, t/ha			
	Testi	Tekijä	1993	Koef:na	0	10	24	x	0	10	24	x	0	10	24	x
					Oraiden paino, mg				Oraiden P, g/kg				P:n otto, kg/ha			
1997	Kevätvehnä		0	0	45	47	50	47	2,27	2,62	2,79	2,56	0,51	0,62	0,70	0,61
		Mahti	0	17	48	52	55	51	2,63	2,84	3,08	2,85	0,62	0,74	0,84	0,73
			200	0	49	51	53	51	2,65	2,91	3,15	2,90	0,63	0,74	0,83	0,74
			200	17	52	53	54	53	3,02	3,23	3,39	3,21	0,78	0,85	0,92	0,85
				x	48	51	53	51	2,64	2,90	3,10	2,88	0,64	0,74	0,82	0,73
	F	Fosforilannoitus			***				***				***			
	Kalkitus			em				**				**				
	P-lann. * kalkitus			em				em				em				
1998	Ohra		0	0	79	91	96	88	2,99	2,80	3,03	2,94	0,94	1,01	1,16	1,04
		Saana	0	15	100	108	108	105	3,66	3,59	3,72	3,66	1,47	1,54	1,61	1,54
			200	0	95	109	110	105	3,20	3,25	3,40	3,29	1,23	1,43	1,49	1,38
			200	15	103	112	121	112	3,78	3,87	3,94	3,86	1,56	1,74	1,91	1,74
				x	94	105	109	103	3,41	3,38	3,49	3,44	1,30	1,43	1,54	1,42
	F	Fosforilannoitus			***				**				***			
	Kalkitus			**				em				*				
	P-lann. * kalkitus			em				em				em				



Kuva 1.1. Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus oraiden kasvuun ja fosforin saantiin Jokioisten Iolan hiuesavimaalla. Murtoviivojen vasen piste ilman kalkkia (pH 5,98), keskellä kalkitus 10 t/ha (pH 6,40) ja oikealla 24 t/ha (pH 6,83).

kahdenarvoisilla kalsiumioneilla parantaa savemurujen kestävyttä ja maan rakennetta (Hartge 1976, Schachtschabel 1976, Heinonen 1992). Täysin neutraloidussa maassa (vesi-pH yli 7,0) oleva kalsiumkarbonaatti vahvistaa muruja mekaanisesti, kun kosteassa maassa liennutta kalkkia kiteytyy niihin maan kuivussa.

1.3.2 Oraiden fosforin saanti ja kasvu

Fosforilannoituksen ja kalkituksen vaikutuksia viljan oraiden fosforin saantiin ja kasvuun tutkittiin Jokioisten Iolan hiuesavimaalla kevätvehnällä vuonna 1997 ja ohralla vuonna 1998 (Taulukko 1.5, Kuva 1.1). Oraiden ollessa noin 20 cm:n pituisia jokaiselta 108 koeruudulta poimittiin sen eri puolilta 20 kasvia. Niistä muodostuneet pienet orasnäytteet kuivattiin paperipusseissa, punnittiin, yhdistettiin kojesenittäin ja jauhettiin kemiallista analyysia varten. Kasviaineksesta määritettiin fosforin ja muiden ravinteiden pitoisuudet märkämpöpoltoilla ja ICP-laitteella. Varianssianalyysit laskettiin käyttämällä eri muokkausta-voja kerranteina. Oraiden ottamat fosforimäärät laskettiin niiden tiheyden perusteella: fosforin otto = oraiden keskipaino kertaa oraiden fosforipitoisuus kertaa oraiden lukumäärä.

Fosforilannoitus vaikutti molemmilla viljalajeilla tilastollisesti erittäin merkittävästi sekä kasvuun että fosforipitoisuuteen (Taulukko 1.5, Kuva 1.1). Vehnän oraiden kasvussa vuonna 1997 (Taulukko 1.3) erotui selvästi vain neljättä vuotta ilman fosforilannoitusta ollut käsittely, jossa pinta-maan (0–10 cm) helppoliukoisen fosforin pitoisuus syksyllä 1997 oli 3,7–4,5 mg/l. Kalkitus ei vaikuttanut merkittävästi vehnän oraiden kasvuun, mutta suurensi niiden fosforipitoisuutta parillakymmenellä prosentilla. Ohralla vuonna 1998 kalkki päinvastoin paransi oraiden kasvua mutta ei suurentanut merkittävästi niiden fosforipitoisuutta.

Kuvassa 1.1 yhtenäiset viivat osoittavat vuodesta 1993 ilman fosforia viljeltyä maata ja pisteiviivat joka vuosi fosforilla lannoitettua. Saman vuoden sijoituslannoitus, 17 kg P/ha, ei ollut vehnällä kuivahkona keväänä vuonna 1997 kovin tehokas, koska kaikki tulokset olivat saman vuoden syksyllä otettujen maanäytteiden fosforilukujen mukaisia. Fosforin sijoittaminen (15 kg P/ha) ei paljon nopeuttanut oraiden kasvua ohrallakaan vuonna 1998, mutta lisäsi niiden fosforipitoisuutta selvästi siitä, mitä edellisenä syksynä otettujen maanäytteiden liukoisen fosforin pitoisuus olisi edellyttänyt.

Taulukko 1.6. Mietoisten aitosavimaalle vuosina 1991 ja 1993 levitetyn kalkkikivijauheen ja vuosittain annetun fosforilannoituksen vaikutus vilja- ja rypsisatoihin ja niiden ulkoiseen laatuun. Fosforilannoituksen vasen luku tarkoittaa osaruudun keski-määräistä lannoitusta v. 1991–1998 ja oikea osa-osaruudun keski-määräistä lannoitusta v. 1994–1998 (tarkat määrät liitteessä 1.1). □ = keskiarvoissa on mukana rypsisato kahdella kerrottuna. # = vuosilta 1994–1998 ovat mukana kahden käsittelyn keskiarvot. Merk. = fosforilannoituksen ja kalkituksen päävaikutusten sekä niiden yhdysvaikutusten merkitsevyys varianssianalyysin F-arvon satunnaisuuden todennäköisyytenä: em = yli 5 %, * = 1–5 %, ** = 0.1–1, *** = alle 0.1 %, – = ei testattu.

Vuosi	Kasvi	Fosforilannoitus, kg/ha#						Merk.	Kalkitus, t/ha 1991–93			Yhdysvaikutus	
		0+0	0+12	10+0	10+12	10+0	10+12		0	12+4	30+10	Merk.	Merk.
Vilja/rypsisato, kg/ha													
1991	Ohra	3990		4360		4560	***	4250	4330	4340	em	em	
1992	Ohra	3050		3200		3400	**	3030	3280	3330	*	em	
1993	Kevätvehnä	4890		5220		5560	***	5020	5300	5343	em	em	
1994	Kevätvehnä	4720	4780	4820	4860	4860	4820	em	4690	4810	4930	em	em
1995	Ohra	5880	6090	5910	6010	5830	5880	em	5960	5780	6050	em	em
1996	Ohra	4120	4250	4210	4330	4420	4450	***	3810	4420	4650	**	em
1997	Ohra	3500	3620	3590	3690	3660	3790	*	3050	3730	4140	*	em
1998	Kevätrypsi	1920	2030	2020	2090	2020	2060	***	1830	2040	2200	***	*
1991–1993		3980		4260		4510	***	4040	4270	4380	**	*	
1994–1995		5300	5440	5360	5440	5340	5350	em	5320	5300	5490	em	em
1996–1998□		3820	3980	3950	4070	4040	4120	***	3510	4080	4400	***	em
1991–1998□#		4290		4450		4560	***	4180	4470	4650	***	em	
Käsittelyn vaikutus				+160		+270			+290	+470			
Hehtolitrainpaine, kg/ha (rypsillä öljypitoisuus, %)													
1991–1992	Ohra	65,7		66,1		66,8	–	66,2	66,3	66,2	–	–	
1993–1994	Kevätvehnä	86,3		86,3		86,2	–	86,2	86,1	86,5	–	–	
1995–1997	Ohra	68,6	68,7	68,7	68,9	68,5	69,0	–	68,5	68,7	69,0	–	–
1998	Kevätrypsi	(49,8	49,2	48,8	49,5	49,1	49,7	–	49,6	49,2	49,3)	–	–
1991–1997		72,8		73,0		73,2	–	72,9	73,0	73,2	–	–	
Käsittelyn vaikutus				+0,2		+0,4			+0,1	+0,3			
Tuhannen jyvän/siemenen paino, g													
1991–1992	Ohra	43,4		44,1		45,0	–	43,5	44,6	44,4	–	–	
1993–1994	Kevätvehnä	37,4		38,0		37,8	–	37,2	37,7	38,2	–	–	
1995–1997	Ohra	48,2	48,4	48,4	48,5	47,5	48,7	–	48,1	48,4	48,4	–	–
1998	Kevätrypsi	2,39	2,38	2,33	2,36	2,35	2,32	–	2,47	2,37	2,24)	–	–
1991–1997		43,8		44,2		44,3	–	43,7	44,2	44,3	–	–	
Käsittelyn vaikutus				+0,4		+0,5			+0,5	+0,6			

Orasanalyysit osoittivat, että maanäytteenä happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan eli helpoliukoisen fosforin pitoisuuden suurentaminen runsaalla kalkituksella paransi vehnän ja ohran fosforin saantia jokseenkin yhtä paljon kuin vastaavan vaikutuksen maahan aiheuttanut, vuonna 1993 annettu fosforilannoitus. Ilman fosforilannoitusta viljeltäessä fosforin saanti parani kalkituksella jopa enemmän kuin vähäinen maan fosforipitoisuuden muutos olisi edellyttänyt. Ohralla vuonna 1998 todettu sijoitetun lannoitteen hyvä välitön teho ei noudattanut maan vil-

jauuden muutoksia, mikä oli odotettavissakin.

1.3.3 Sadon määrä ja laatu

Erilaisilla fosforilannoitus- ja kalkituskäsittelyjen yhdistelmillä saadut sadot ja niiden ulkoinen laatu on esitetty liitteissä 1.1–1.3. Fosforilannoituksen ja kalkituksen vaikutukset sadon määrään ja laatuun sekä näiden koetekijöiden vaikutusten tilastollinen merkitsevyys nähdään taulukoista 1.6–1.8. Fosforitilaltaan keskinkertaisilla ja lievästi happamalla Mietoisten aitosavella ja Jo-

Taulukko 1.7. Jokioisten Iolan hiuesavimaalle vuonna 1993 levitetyn superfosfaatin (0 ja 200 kg P/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin (0 ja 15–33, keskimäärin 23 kg/ha, liite 1.7) sekä vuonna 1993 levitetyn kalkin# (0, 10 ja 24 tn/ha) vaikutus vilja- ja rypsisatoihin ja niiden ulkoiseen laatuun (# = täydennyskalkitus talvella 1998 ennen ohran kylvöä). □ = keskimääräisissä hehtaarisadoissa on mukana rypsin sato kahdella kerroksella. Merk. = fosforilannoituksen ja kalkituksen päävaikutusten sekä niiden yhdysvaikutusten merkitsevyys varianssi-analyysin F-arvon todennäköisyytenä: em = yli 5 %, * = 1–5 %, ** = 0.1–1, *** alle 0.1 %.

Vuosi	Kasvi	Fosforilannoitus, kg/ha				Merk.	Kalkitus, t/ha v. 1993#			Yhdysvaikutus	
		0	23/v	200–93	200+23		0	10	24	Merk.	Merk.
Vilja/rypsisato, kg/ha											
1994	Syysvehnä + Ohra	3390	3540	3730	3790	***	3550	3710	3570	em	em
1995	Kevätvehnä	4820	4970	4850	4790	em	4770	4870	4940	em	em
1996	Kevätrypsi	1760	1890	1980	1810	*	1700	1870	2010	***	em
1997	Kevätvehnä	4240	4700	4660	4750	***	4310	4620	4830	**	em
1998	Ohra	4110	4510	4430	4470	***	4180	4430	4530	**	em
1994–95		4100	4250	4290	4290	**	4160	4290	4250	em	em
1996–98	□	3950	4330	4350	4280	***	3960	4270	4460	***	em
	Keskimäärin	4010	4300	4330	4280	***	4040	4280	4380	**	em
	Käsittelyn vaikutus		+290	+320	+270			+240	+340		
Hehtolitrapaino, kg/hl (rypsillä öljypitoisuus, %)											
1994	Syysvehnä + ohra	71,9	70,9	72,7	71,8	**	71,8	71,7	72,0	em	em
1995	Kevätvehnä	82,1	82,1	82,3	82,6	em	82,2	82,5	82,2	em	em
1996	Kevätrypsi	(47,2	47,3	47,9	47,5)	em	(47,7	47,5	47,2)	em	em
1997	Kevätvehnä	75,6	76,1	76,1	75,9	em	75,7	75,8	76,2	em	em
1998	Ohra	62,6	63,9	62,8	63,3	*	63,0	63,0	62,7	em	em
	Viljat keskimäärin	73,0	73,0	73,5	73,4	*	73,1	73,1	73,3	em	em
	Käsittelyn vaikutus		0,0	+0,5	+0,4			0,0	+0,2		
Tuhannen jyvän/siemenen paino, g											
1994	Syysvehnä + ohra	32,7	33,5	32,8	32,9	*	33,3	33,1	32,5	em	em
1995	Kevätvehnä	39,4	39,7	39,5	39,4	em	39,2	39,5	39,7	em	em
1996	Kevätrypsi	2,59	2,64	2,55	2,60	**	2,63	2,59	2,56	*	em
1997	Kevätvehnä	31,6	32,8	32,7	32,8	***	32,1	32,4	33,1	*	em
1998	Ohra	41,6	41,2	41,2	41,5	em	41,8	41,5	40,8	em	em
	Viljat keskimäärin	36,3	36,8	36,6	36,7	*	36,6	36,7	36,5	em	em
	Käsittelyn vaikutus		+0,5	+0,3	+0,4			+0,1	-0,1		

kioisten Iolan hiuesavella sekä fosforilannoitus että kalkitus suurensivat satoja erittäin merkittävästi, mutta niiden yhdysvaikutukset olivat vähäisiä ja useimmiten tilastollisesti epävarmoja. Runsasfosforisella ja hyvin lievästi happamalla Jokioisten Ojaisten hiuesavella vaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä muutamissa sadoissa. Osa-osaruutuihin vuosittain sijoitettu fosforilannoitus oli erikseen testattuna merkitsevä vähän useammin kuin kaikki neljä fosforilannoituskäsittelyä yhdessä.

Mietoisten aitosavella fosforilannoitus lisäsi viljasatoa kolmena ensimmäisenä

vuonna 530 kg/ha eli 13 prosenttia, mutta oli tehotonta sateisina kasvukausina 1994 ja 1995, eikä sen vaikutus myöhemminkään noussut suuremmaksi kuin 300 kg:aan/ha (Taulukko 1.6). Koko kahdeksan vuoden jaksolla pienempi fosforimäärä (12 kg P/ha) lisäsi viljasatoa 160 kg/ha eli neljä prosenttia ja suurempi määrä (22 kg P/ha) 270 kg/ha eli kuusi prosenttia. Kalkitsemmattomalla maalla fosforin vaikutus oli kuitenkin 460 kg/ha eli 12 prosenttia (Liite 1.1). Kalkituksen aiheuttama sadonlisäys taas kasvoi koejakson aikana ja oli suurimmillaan vuonna 1997 jopa yli

1000 kg/ha. Koejakson keskisatoa pienempi kalkkimäärä (16 t/ha) suurensi 290 kg/ha eli seitsemän prosenttia ja suurempi määrä (40 t/ha) 470 kg/ha eli 11 prosenttia (Taulukko 1.6). Ilman fosforilannoitusta kalkitus lisäsi keskisatoa 640 kg/ha eli 12 prosenttia ja vuoden 1997 ohrasatoa jopa 1310 kg/ha (Liite 1.1). Fosforilannoitus ja kalkitus yhdessä lisäsivät koejakson keskisatoa 880 kg/ha eli 23 prosenttia ja vuoden 1997 satoa 1450 kg eli 53 prosenttia ilman fosforilannoitusta ja kalkitusta tuotetusta. Sadon laatumääritykset tehtiin Mietoisten kokeesta koejäsenittäin, mutta sekä fosforilannoituksella että kalkituksella oli positiivinen trendi niin hehtolitrapainoissa kuin tuhannen jyvän painoissakin (Taulukko 1.6). Yhteensä nämä koetekijät suurensivat vuosina 1991–1997 viljan tuhannen siemenen painoa 1,4 grammalla eli 3,2 prosenttia (Liite 1.1).

Jokioisten Ilolan hiuesavella kaikki viljakasvustot olivat täysin pystyjä ja rypsisäkin oli vain löysää lakoa. Fosforilannoitus lisäsi satoa muina vuosina, mutta sadekesänä 1995 se ei vaikuttanut merkittävästi kevätvehnän satoon (Taulukko 1.7). Vuosittain sijoitettu fosforilannoitus, keskimäärin 23 kg P/ha, lisäsi keskisatoa 290 kg eli seitsemän prosenttia ja kesällä 1993 levitetty kerta-annos 200 kg P/ha tuotti 320 kg/ha eli kahdeksan prosenttia lisää. Nämä molemmat lannoitukset yhdessä eivät suurentaneet satoa lainkaan pelkällä vuotuislannoituksella tai pelkällä varastolannoituksella saadusta. Kun myös fosforin varastolannoituksen teho säilyi pitkään hyvänä myös niukkafosforisella Jokioisten savella (Saarela 1998), vuosittainen muokaus tai muut tekijät näyttävät hidastavan lannoitefosforin saatavuuden heikkenemistä avoviljelyssä nurmiin verrattuna, sillä perustettaessa maahan mullatun tai sijoitetun fosforin teho on ollut riittävä vain yhtenä tai kahtena ensimmäisenä nurmivuonna (Saarela et al. 1988, Hakkola 1998).

Ilolassa kalkitus vaikutti satoon merkittävästi kolmannelta koevuodesta alkaen. Keskisadon lisäys oli pienemmällä 10 t/ha kalkkimäärällä 240 kg/ha eli kuusi prosent-

tia ja suuremmalla 340 kg/ha eli kahdeksan prosenttia. Molemmat käsittelyt yhdessä lisäsivät satoa 610 kg/ha eli 16 prosenttia (Liite 1.2). Sijoitettu fosfori ja kalkitus suurensivat vehnän tuhannen siemenen painoa sekä erikseen että yhdessä, ja niiden yhteisvaikutus oli jopa 3,3 g eli 11 prosenttia. Kevätrypsillä vuonna 1996 siemenen paino muuttui koekäsittelyjen välillä vastakkaiseen suuntaan kuin siemensato, eli molemmat käsittelyt pienensivät rypsin siementen keskipainoa. Vuoden 1994 sadon laatuominaisuudet riippuivat sekakasvuston syysvehnän ja ohran suhteesta.

Jokioisten Ojaisten hiuesavella satoerot olivat maan hyvän viljavuuden takia luonnollisesti pienempiä, mutta osaruuduilla olleen fosforilannoituksen vaikutukset olivat kuitenkin usein tilastollisesti merkitseviä (Taulukko 1.8). Kalkituskin näyttää vaikuttaneen merkittävästi vuosien 1996–1998 keskisatoon, joka oli suurimmillaan annettaessa kalkkia 10 t/ha joko vuonna 1980 tai 1995 mutta pieneni yhdistettäessä molemmat käsittelyt. Kahdesta kerranteesta saadut tulokset saattavat kuitenkin johtua myös koekentän ominaisuuksien vaihtelusta. Vuoden 1998 rypsisadosta mitatut hyvin merkitsevät erot tuhannen siemenen painossa vahvistavat todellisten vaikutusten todennäköisyyttä. Tuhannen siemenen painossa oli merkitseviä eroja myös syysvehnällä vuonna 1996, jonka jyvät suurensivat fosforilannoituksella mutta pienivät kalkituksella. Fosforilannoituksen vaikutus vuosien 1994–1998 keskisatoon oli 200 kg/ha eli viisi prosenttia ja kalkituksen vaikutus 170 kg/ha eli neljä prosenttia. Molempien tekijöiden yhteinen vaikutus koejakson keskisatoon oli 340 kg/ha eli kahdeksan prosenttia (Liite 1.3). Kerranteissa 3–4, joissa pääruudut puolitettiin kalkituksella vuonna 1995, satoerot olivat jopa 20 prosenttia, mutta kerranteiden vähyden takia tilastollinen vaihtelualue on leveä.

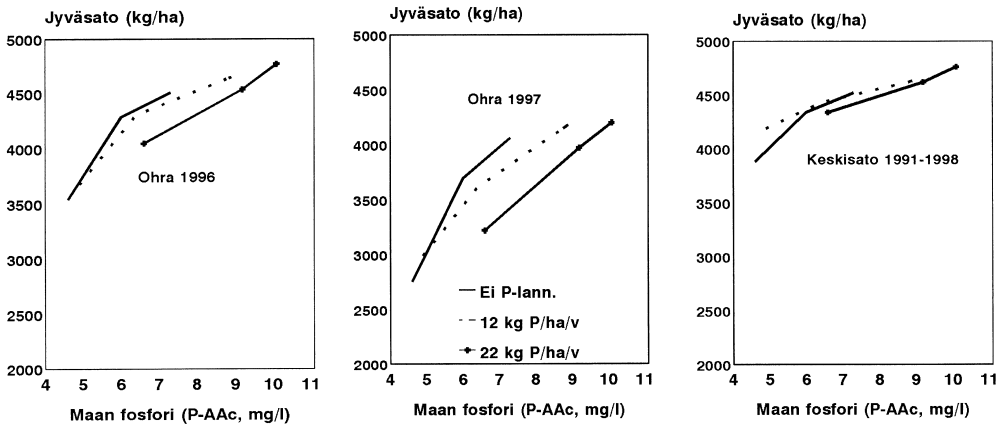
Kuvissa 1.2 ja 1.3 verrataan fosforilannoituksen ja kalkituksen vaikutuksia satoon suhteessa vastaaviin maan helppoliukoisien fosforin pitoisuuksiin. Mietoisten kokeen satotuloksia havainnollistavat kuvan 1.2

Taulukko 1.8. Jokioisten Ojaisten hiesavimaalle vuosina 1980, 1995 ja 1998 levitetyn kalkin sekä aikaisemman ja koevuosien fosforilannoituksen (liite 1.8) vaikutus vilja- ja rypsisaitoihin sekä niiden ulkoiseen laatuun. Merkinnät 0 ja 10+6 osoittavat vuosien 1980 ja 1998 ja (10) kevään 1995 kalkitusta. Fosforilannoituksesta 690 kg/ha annettiin vuosina 1980–1989 10 * 60 kg ja v. 1996 syksyllä 90 kg/ha. Vuonna 1995 kalkitus annettiin kahdelle neljästä kerranteesta. □ = keskimääräisissä hehtaarisadoissa ovat mukana rypsin sadot kahdella kerrattuna. Merk. = fosforilannoituksen ja kalkituksen päävaikutusten sekä niiden yhdysvaikutusten merkitsevyys varianssianalyysin F-arvon todennäköisyytenä: em = yli 5 %, * = 1–5 %, ** = 0.1–1 %, *** alle 0.1 %. jv/vl = jälkivaikutuksen sisältävien kaikkien neljän käsittelyn ja vuotuislannoituksen merkitsevyys (– = ei merkitsevä).

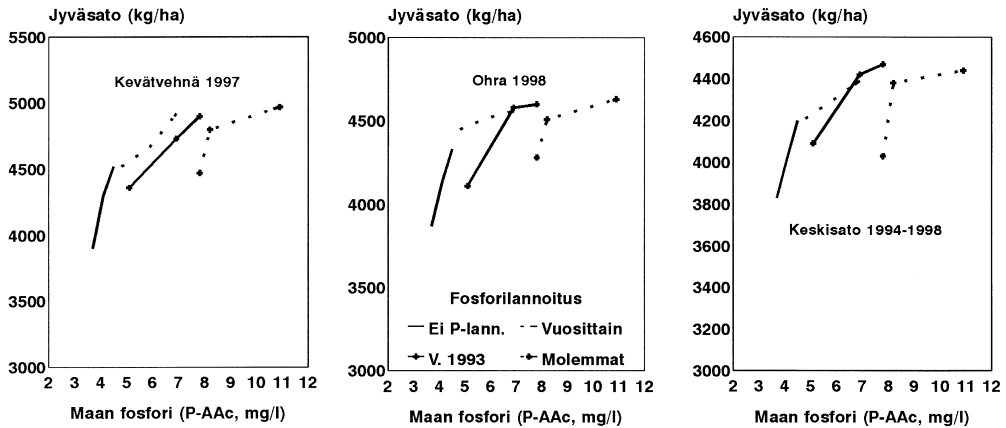
Vuosi	Kasvi	Ker- ranne	Fosforilannoitus, kg/ha				Merk jv/vl	Kalkitus, tn/ha vuosina 1980–98 (–95)				Yhdysvaikutus		
			0	23/v	(690)	690+23		0	(10)	10+6	10+6(+10)	Merk.	Merk.	
Vilja/rypsisato, kg/ha														
1994	Kevät- vehnä	1–4	5220	5390	5340	5410	–/*	5270			5410		em	em
1995	Ohra	1–4	4120	4270	4170	4350	–/**	4040			4420		em	em
		3–4	3910	4140	3980	4060	–/–	3430	4170	4430	4050		em	em
1996	Syys- vehnä	1–4	6420	6850	6540	6720	–/*	6600			6660		em	em
		3–4	6390	6820	6400	6810	–/*	6370	6850	6680	6520		em	em
1997	Kevät- rypsi	1–4	1970	2030	2030	2090	–/–	2000			2070		em	em
		3–4	1870	2030	2010	2110	–/–	1880	2050	2050	2040		em	em
1998	Kevät- rypsi	1–4	1110	1150	1090	1130	–/–	1090			1150		em	em
		3–4	1030	1110	1130	1230	*/–	1110	1110	1180	1100		em	em
1994, 1996 (v)		1–4	5820	6120	5940	6050	*/–	5930			6030		em	em
1997–1998 (ry)		1–4	1540	1590	1560	1610	–/–	1540			1610		em	em
1996–1998 □		3–4	4060	4370	4230	4490	**/*	4120	4390	4380	4270		*	em
Keskimäärin □		1–4	4380	4570	4460	4580	–/*	4410			4580		em	em
Käsittelyn vaikutus				+190	+80	+200					+170			
Hehtolitraino, kg/hl (rypsillä öljypitoisuus, %)														
1994	Kevät- vehnä	1–4	81,4	81,5	81,7	81,4	–/*	81,4			81,6		em	em
1995	Ohra	1–4	63,5	63,7	63,5	63,6	–/–	63,4			63,8		*	em
		3–4	63,5	63,6	63,6	63,6	–/–	63,2	63,9	63,6	63,6		em	em
1996	Syys- vehnä	1–4	78,0	78,3	78,1	78,2	–/*	78,3			78,0		em	em
		3–4	78,2	78,6	78,2	78,6	–/*	78,5	78,8	78,0	78,2		em	em
1997	Kevät- rypsi	1–4	(46,4)	46,2	46,5	46,2	–/–	46,0			(46,6)		em	em
		3–4	(46,1)	46,6	46,0	46,0	–/–	46,1	45,6	46,7	46,2)		em	em
1998	Kevät- rypsi	1–4	(44,0)	44,1	44,3	44,1	–/–	44,0			(44,3)		em	em
		3–4	(43,9)	44,6	44,4	44,2	–/–	44,2	44,4	44,4	44,1)		em	em
Tuhannen jyvän/siemenen paino, g														
1994	Kevät- vehnä	1–4	37,0	37,3	37,3	37,7	–/*	37,0			37,6		*	em
1995	Ohra	1–4	38,4	38,8	38,3	38,7	–/–	38,1			38,9		*	em
		3–4	37,7	38,1	38,1	38,3	–/–	37,2	38,5	38,5	37,9		em	em
1996	Syys- vehnä	1–4	37,5	38,1	38,1	38,5	**/*	38,3			37,8		*	em
		3–4	37,4	38,3	37,8	38,3	–/*	38,3	38,5	37,6	37,7		em	em
1997	Kevät- rypsi	1–4	2,21	2,23	2,18	2,24	–/–	2,19			2,25		em	em
		3–4	2,15	2,24	2,18	2,25	–/*	2,13	2,25	2,24	2,21		**	em
1998	Kevät- rypsi	1–4	2,00	2,03	2,04	2,06	–/–	2,03			2,04		em	em
		3–4	2,04	2,06	2,05	2,08	–/–	2,05	2,06	2,06	2,08		em	em

murtoviivat osoittavat, että kalkituksella saatiin vuosina 1996 ja 1997 huomattavasti suurempia ohrasatoja kuin samaan maan fosforipitoisuuteen tarvittulla fosforilannoituksella.

Vuonna 1996 pienempi fosforimäärä oli suhteessa maa-analyysilukuihin yhtä tehokas sadon lisääjä kuin kalkitus, mutta vuonna 1997 molemmat fosforilan-



Kuva 1.2. Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus satoon Mietoisten aitosavimaalla. Murtoviivojen vasen piste ilman kalkitusta (pH 6,32), keskellä kalkitus 16 t/ha (pH 6,98) ja oikealla 40 t/ha (pH 7,37).

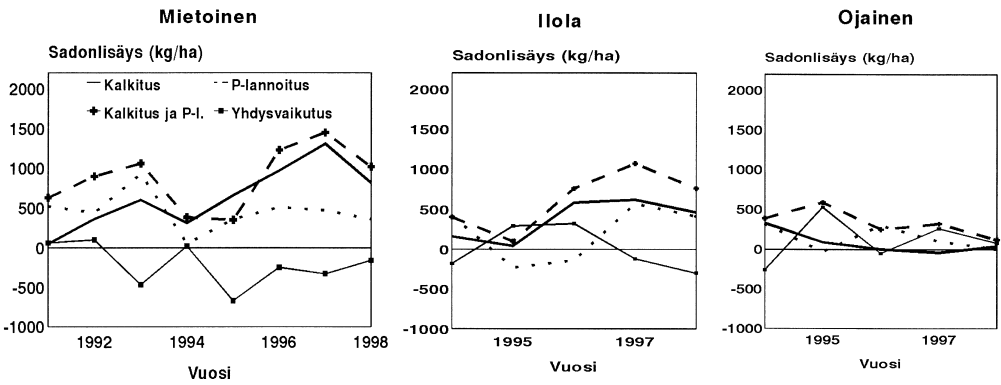


Kuva 1.3. Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus satoon Jokioisten Ilolan hiusesavella. Murtoviivojen vasen piste ilman kalkkia (pH 5,98), keskellä kalkitus 10 t/ha (pH 6,40) ja oikealla 24 t/ha (pH 6,83).

noituksen määrät lisäsivät satoa vähemmän kuin samaan maan fosforipitoisuuteen tarvittu kalkitus. Koko koejakson keskisadoissa, jotka sisältävät fosforilannoituksen tehokkaan vaikutuksen kokeen alkuvuosina, pienempi fosforimäärä oli hiukan tehokkaampi kuin yhtä paljon maan liukoisen fosforin pitoisuutta suurentanut kalkitus.

Jokioisten Ilolan hiusesavella (Kuva 1.3), joka oli Mietoisten aitosavea happamampi, pienempi kalkitus (10 t/ha) suurensi satoja tehokkaasti, mutta maan helpoliukoisen fosforin pitoisuutta ilman fosfori-

lannoitusta aika vähän. Kuvan 1.1 mukaan ensimmäiset kymmenen kalkkitonnia paransivat oraiden fosforin saantiakin enemmän kuin vastaava maan fosforipitoisuuden muutos edellytti. Tulos vahvistaa aikaisempia havaintoja, joiden mukaan fosforin saanti suhteessa asetaattiliukoisen fosforin pitoisuuteen on kivennäismailla parhaimmillaan lähellä neutraalia (Saarela 1992, Saarela et al. 1995). Runsaampikin kalkitus paransi satoja vähintään niin paljon kuin maan fosforipitoisuuden suureneminen edellytti. Mietoisten ja Jokioisten ko-



Kuva 1.4. Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus satoon erikseen ja yhdessä Mietoisten aitosavimaalla sekä Jokioisten Ilolan ja Ojaisten hiesavimailla.

keet viittaavat siihen, että savimaiden runsas kalkitus suurentaa satoja parantamalla muitakin kasvutekijöitä fosforin saannin helpottumisen lisäksi. Ilolan hiesavaven pH-luvun nostaminen yli 6,4:n lisäsi satoa vähemmän (100 kg/ha, Taulukko 1.7) kuin Mietoisten aitosavaven pH-luvun nostaminen yli 7,0:n (180 kg/ha, Taulukko 1.6). Eri-laiset tulokset saattavat osittain johtua myös koejaksojen pituudesta ja niiden kasvukausien säästä, ja näennäisiä eroja voi aiheutua myös maaperän epätasaisuudesta johtuvista ja koeverheistä.

Kuvassa 1.4 esitettävästä satotulosten yhteenvedosta nähdään, että kalkitus ja fosforilannoitus yhdessä lisäsivät satoa kaikissa kokeissa melkein joka vuosi. Ilman fosforilannoitusta annettu kalkitus vaikutti myös useimmiten positiivisesti, mutta pelkän fosforilannoituksen vaikutus yhden vuoden satoihin oli epävarma jopa kohtalaisen niukkafosforisilla Mietoisten ja Ilolan mailla. Koetekijöiden yhdysvaikutus vaihteli vuosittain rajusti kaikilla koepaikoilla. Yhdysvaikutus oli kaiken kaikkiaan selvästi negatiivinen, eli kalkitus vähensi fosforilannoituksen vaikutusta ja fosforilannoitus kalkituksen vaikutusta, vain Mietoisten aitosavimaalla. Kalkituksen aiheuttamien sadonlisäysten suurempaan tasaisuuteen saattaa olla syynä sen monipuolinen vaikutus samanaikaisesti useaan kasvutekijään, joista ainakin jotkut ovat satoa rajoittavia.

1.3.4 Sadon fosfori ja typpi

Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus korjattujen satojen fosfori- ja typpipitoisuuksiin ja -määriin on esitetty liitteissä 1.4–1.8. Molempien koetekijöiden vaikutuksia erikseen ja yhdessä sekä tilastollisia merkitsevyyksiä nähdään taulukoista 1.9–1.11. Koekäsittelyjen aiheuttamat erot sadon fosforipitoisuuksissa olivat melko pieniä. Niin kalkitus kuin fosforilannoitukin suurensivat kuitenkin viljan fosforipitoisuutta selvästi viljavuudeltaan keskinkertaisilla Mietoisten ja Ilolan kentillä (Liitteet 1.4 ja 1.6). Runsfosforisella Ojaisten hiesavella (Liite 1.8) ero oli selvin kevätvehnällä vuonna 1994. Rypsin fosforipitoisuutta suurensi fosforilannoitus Jokioisissa vuonna 1996 ja molemmat koetekijät yhdessä Mietoisisa vuonna 1998. Pelkkä kalkitus ei vaikuttanut rypsin siementen fosforipitoisuuteen yhdessäkään kokeessa. Mietoisisa kalkitus pienensi ohrasadon fosforipitoisuutta ensimmäisenä vuonna, mutta suurensi sitä varsin tehokkaasti kuudentana ja seitsemäntenä vuonna. Vaikutuksen muuttuminen kokeen aikana osoittaa vähittäistä kehitystä, joka ei tapahdu maan pH-luvun nousun tahdissa vaan seuraa sitä muutaman vuoden viiveellä. Hitaiden kemiallisten reaktioiden ohella tulokseen ovat saattaneet vaikuttaa maan fysikaalisten ominaisuuksien ja biologisten tekijöiden muutokset.

Taulukko 1.9. Mietoisten aitosavimaalle vuosina 1991 ja 1993 levitetyn kalkkikivijauheen ja vuosittain annetun fosforilannoituksen vaikutus viljan ja rypsin fosforin ja typen ottoon. Koekäsittely on selostettu tarkemmin taulukossa 1.5 ja liitteessä 1.1.

Vuodet	Fosforilannoitus, kg/ha						Merk.	Kalkitus, t/ha 1991–93			Yhdysvaikutus	
	0+0	0+12	13+0	13+12	10+0	10+12		0	12+4	30+10	Merk.	Merk.
Satojen ottama fosforimäärä, kg/ha/v												
1991–1993	12,8		13,7		14,7		***	13,4	13,9	13,9	*	*
1994–1995	17,4	17,6	17,3	17,8	17,4	17,5	em	17,2	17,4	17,9	em	em
1996–1998	12,7	13,7	13,5	14,0	13,6	14,2	***	11,6	13,9	15,3	***	**
1991–1998	14,1		14,7		15,1		***	13,7	14,8	15,4	***	em
Käsittelyn vaikutus			+0,6		+1,0				+1,1	+1,7		
Satojen ottama typpimäärä, kg/ha/v												
1991–1993	80,7		86,4		87,8		***	80,7	86,3	87,8	**	**
1994–1995	84,9	86,3	85,1	85,3	84,0	85,5	em	82,8	84,5	88,3	em	em
1996–1998	55,0	55,3	56,1	56,1	57,7	57,3	*	48,5	57,2	63,1	***	*
1991–1998	72,1		74,1		76,6		***	69,1	75,0	78,6	***	**
Käsittelyn vaikutus			+2,0		+4,5				+5,9	+9,5		

Taulukko 1.10. Jokioisten Iolan hiuesavimaalle vuonna 1993 levitetyn superfosfaatin (0 ja 200 kg P/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin sekä vuonna 1993 levitetyn kalkin (0, 10 ja 24 t/ha) vaikutus vilja- ja rypsisatojen fosforin ja typen ottoon. Koekäsittelyt on selostettu tarkemmin taulukossa 1.6 ja liitteessä 1.2.

Vuodet	Fosforilannoitus, kg/ha					Merk.	Kalkitus, t/ha v. 1993#			Yhdysvaikutus	
	0	23/v	200–93	200+23			0	10	24	Merk.	Merk.
Satojen ottama fosforimäärä, kg/ha/v											
1994–1995	13,8	14,4	14,8	14,8		***	14,1	14,7	14,5	em	em
1996–1998	13,7	15,2	15,6	15,3		***	13,8	15,1	15,9	***	em
1994–1998	13,7	14,9	15,2	15,1		***	13,9	14,9	15,3	**	em
Käsittelyn vaikutus		+1,2	+1,5	+1,4				+1,0	+1,4		
Satojen ottama typpimäärä, kg/ha/v											
1994–1995	88,6	91,6	90,9	89,9		*	87,1	91,5	92,2	*	em
1996–1998	62,2	67,9	67,2	66,4		***	61,1	66,5	70,2	***	em
1994–1998	72,8	77,4	76,7	75,8		***	71,5	76,5	79,0	***	em
Käsittelyn vaikutus		+4,6	+3,9	+3,0				+5,0	+7,5		

Vilja- ja rypsisatojen typpipitoisuudet vaihtelivat vuosittain, mutta olivat kaikilla koekäsittelyillä aika tasaisia. Happamilla Mietoisten ja Iolan kentillä kalkituksella oli kuitenkin selvä positiivinen vaikutus sadon typpipitoisuuksiin varsinkin kokeiden lopussa. Iolassa vuonna 1998 kalkitus suurensi ohrasadon typpipitoisuutta yhdellä grammalla kiloa kohti eli yli kaudella prosentilla ja tilastollisesti erittäin merkitsevästi (riski alle 0,1 %). Mietois-

sa sadon typpipitoisuus näytti suurenevan eniten suurimmalla kalkituksella, joka nosti maan pH-luvun yli seitsemän. Myös Jokioisten Ojaisissa satojen typpipitoisuudet nousivat kalkilla lähes neutraalilla maalla, jolla samanlainen tulos saatiin aikaisemminkin aivan tämän kokeen vieressä verrattaessa kalkkia ja puun tuhkaa (Saarela 1989a).

Vilja- ja rypsisatojen ottamat fosforimäärät suurensivat selvästi sekä fosforilan-

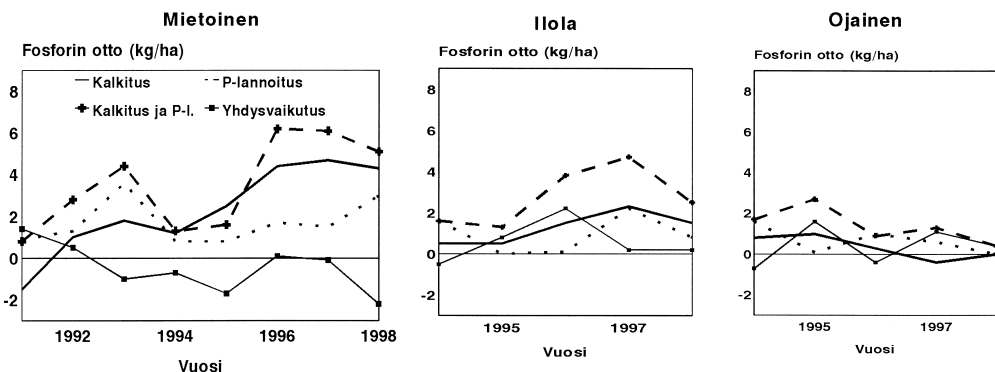
Taulukko 1.11. Jokioisten Ojaisten hiuesavimaalle vuosina 1980, 1995 ja 1998 levitetyn kalkin sekä aikaisemman ja koevuosien fosforilannoituksen vaikutus vilja- ja rypsisatojen fosforin ja typhen ottoon. Koekäsittelyt on esitetty tarkemmin taulukossa 1.7 ja liitteessä 1.3.

Vuodet	Ker- ranne	Fosforilannoitus, kg/ha				Merk jv/vl	Kalkitus, t/ha vuosina 1980–98 (–95)				Yhdysvaikutus	
		0	23/v	(690)	690+23		0	(10)	10+6	10+6(+10)	Merk.	Merk.
Satojen ottama fosforimäärä, kg/ha												
1994–1995	1–4	16,0	17,2	16,8	17,5	–/–	16,4		17,5		em	em
1996–1998	1–4	15,1	16,8	15,3	16,8	–/–	15,3		15,7		em	em
	3–4	14,4	15,5	15,1	16,1	**/–	14,6	15,5	15,6	15,3	em	em
Käsittelyn vaikutus			+1,1	+0,7	+1,7			+0,9	+1,0	+0,7		
Satojen ottama typpimäärä, kg/ha												
1994–1998	1–4	90,4	93,8	89,9	91,3	–/–	88,2		94,4		em	em
1996–1998	1–4	64,3	67,2	64,0	66,4	–/–	64,5		66,4		em	em
	3–4	62,6	67,2	65,3	69,5	*/–	62,2	67,9	67,7	66,9	em	em
Käsittelyn vaikutus			+4,6	+2,7	+6,9			+5,7	+5,5	+4,7		

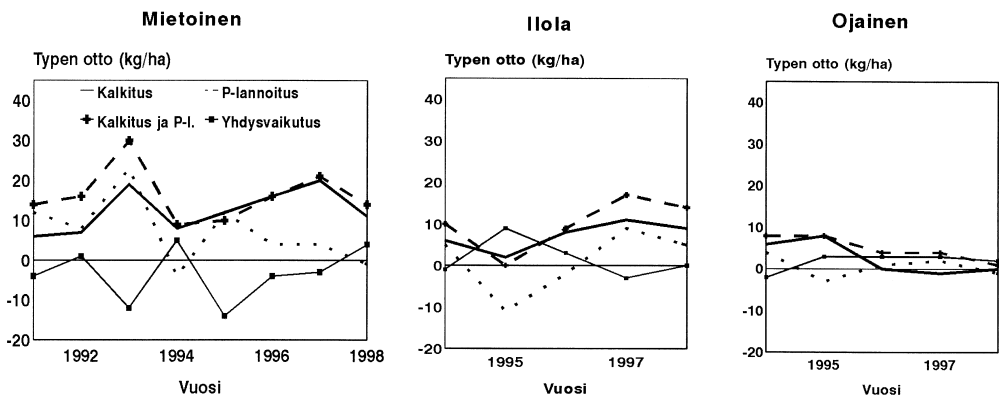
noituksella että kalkituksella (Liitteet 1.4, 1.6 ja 1.8). Mietoisissa ja Ilolassa molempien koetekijöiden vaikutuksista ainakin osa oli erittäin merkitseviä, riski alle 0,1 % (Taulukot 1.9 ja 1.10), mutta Ojaisilla kalkituksen vaikutus (6 %) jäi tilastollisesti epävarmaksi (Taulukko 1.11). Kalkituksen ja fosforilannoituksen yhdysvaikutus fosforin ottoon oli merkitsevä vain Mietoisissa, ja sielläkin vain alussa ja lopussa. Yhdysvaikutus muuttui kokeen alun positiivisesta lopussa negatiiviseksi, eikä ollut koko koeajalta laskettuna merkitsevä.

Pellon fosforitaseeseen maan ravinnevarojen hyväksikäytön tehostaminen kalkituksella vaikuttaa luonnollisesti aivan eri tavalla

kuin niiden kartuttaminen lannoituksella. Kun aikaisemmin haitallisena tai vähintään arveluttavana pidetystä ravinteiden ryöstöstä on ympäristönsuojelun korostuessa tullut yleisesti hyväksytyksi tavoite, kasvien fosforin saanti tulisi mahdollisimman suurelta osin turvata kalkituksella ja muilla maanhoidotoimilla. Satojen vuosittain ottamia fosforimääriä esittävät kuvan 1.5 murtoviivat muistuttavat vastaavia kuvan 1.4 sato-tuloksia, mutta kalkituksen vaikutusta osoittava murtoviiva lähtee Mietoisten kokeessa alemmaksi ja osoittaa siten kalkituksen vaikutuksen ajallista painottumista vielä selvemmin, ja Ilolan kokeessa yhdysvaikutus puuttuu viimeiseen vuoteen saakka.



Kuva 1.5. Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus fosforin ottoon erikseen ja yhdessä Mietoisten aitosavimaalla sekä Jokioisten Ilolan ja Ojaisten hiuesavimailla.



Kuva 1.6. Kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus typen ottoon erikseen ja yhdessä Mietoisten aitosavimaalla sekä Jokioisten Ilolan ja Ojaisten hiesavimailla.

Eri koekäsittelyillä saatujen satojen sisältämät typpimäärät olivat pitkälti sadon määrien mukaisia, mutta typpipitoisuuksia kohottanut kalkitus suurensi typpisatoja hiukan enemmän (Liitteet 1.5, 1.7 ja 1.8). Sadon sisältämän typpimäärän ylittänyt osuus lannoituksesta, eli typpitase, pieni kalkituksella hyvin selvästi. Koko koeajan keskimääräinen jäännöstyyppi väheni hehtaaria kohti Mietoissa 44 kilosta 34 kiloon eli 23 prosenttia, Jokioisten Ilolassa 48 kilosta 39 kiloon eli 19 prosenttia ja Jokioisten Ojaisilla 59 kilosta 53 kiloon eli 10 prosenttia, jälkimmäisessä ei tosin tilastollisesti merkitsevästi. Satojen vuosittain ottamia typpimääriä osoittavissa kuvan 1.6 murtoviivoissa ilmenevät selvästi vastaavat satoerot (Kuva 1.4). Kalkitus lisäsi kuitenkin typpisatoja suhteellisesti enemmän kuin satomääriä ja tasaisemmin koko kokeen aikana. Mietoissa kalkituksen vaikutus typen ottoon (Kuva 1.6) jakaantui ajallisesti paljon tasaisemmin kuin sen loppua kohti kasvanut vaikutus fosforin ottoon (Kuva 1.5).

1.3.5 Kalkituksen vaikutukset ja pH-tavoitteet

Viljavuustutkimuksen tulokinnassa (Elonen et al. 1997) vilja- ja öljykasvien viljelyssä olevien, multavuudeltaan tavanomaisten savimaiden kalkituksen tavoitteena on pH-lukujen nostaminen vähintään 6,4:ään.

Runsasmultaisilla savilla (orgaanista ainesta 6–12 %) pH-tavoite on 6,2 ja erittäin runsasmultaisilla 6,0. Vähämultaiset savet (alle 3 % org.), joiden pH-tavoite on 6,7, ovat käytännössä harvinaisia. Aikaisempien suomalaisten tutkimusten mukaan nämä pH-luvut riittävät suurimpiin mahdollisiin satoihin myös vaatelioiden viljalajikkeiden viljelyssä (Jaakkola 1982, Kemppainen et al. 1993). Happamuutta paremmin sietävät lajikkeet tuottavat täysisiä satoja jopa lohkon heikoimmissa kohdissa, joissa pH-luvut ovat yhden viljavuusluokan verran keskimääräistä pienempiä (Jokinen 1983), samoin happamuuden voimistuessa muutamalla kymmenyksellä ennen seuraavaa kalkitusta.

Edellä esiteltujen kalkitus-fosforilannoituskokeiden ensisijaisena tavoitteena ei ollut satojen parantaminen, vaan maan fosforivarojen hyödyntäminen astiakokeiden ja kemiallisten analyysien antamien viitteiden mukaisesti (Saarela 1990a, 1992, Saarela & Sippola 1987 ja 1990). Runsaalla kalkituksella pyrittiin siis korvaamaan viljelyssä fosforilannoitusta, mikä myös aikaisempien kenttäkokeiden valossa näytti mahdolliselta nimenomaan savimailla (Jaakkola et al. 1977, Saarela 1989, 1991a, 1998). Pienillä kalkkimäärillä hyvin happamilta, suurelta osin eloperäisiltä mailta saatuja huonoja kokemuksia (Anttinen 1959, Lakanen 1971, Keränen & Marjanen 1972) ei pidetty tutkimuksen tavoitte-

teiden kanssa ristiriitaisina. Kalkituksella tavoiteltava maan pH-luku oli 1–2 kokonaista yksikköä korkeampi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa, ja maan fosforin liukoisuus muuttuu ainakin asetaattimenetelmän mukaan jyrkimmin vasta lähellä neutraalia pH-tasoa (Lakanen & Vuorinen 1963).

Lievästi happamilla savimailla saadut tulokset osoittavat, että runsas kalkitus edistää fosforin saantia ohralla ja vehnällä, mutta ei yhtä selvästi rypsilä. Myös julkaisemattomissa astiakokeissa kalkki paransi fosforin saantia rypsilä vähemmän kuin ohralla ja kauralla. Rypsi, kuten muutkin paljon kahdenarvoisia kationeja ottavat kaksisirkkaiset kasvit, erittää maahan disosioituneina anioneina olevia orgaanisia happoja enemmän kuin vilja- ja heinäkasvit (Neumann & Römheld 1999). Fosforin puutteessa runsaammin erittyvän sitruunahapon ja muiden happojen kemiallinen vaikutus ilmeisesti vähentää jonkin verran fosforin liukoisuuden merkitystä. Rypsi on saanut fosforia vaikealiukoisista lannoitteistakin tehokkaammin kuin viljat. Se näytti hyötyvän runsaasta kalkituksesta enemmän muulla tavoin ja kaiken kaikkiaan vähintään yhtä paljon kuin viljat. Riittävä maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli kalkituksen jälkeen sekä Mietoissa että Jokioisten Ilolassa jokseenkin tyydyttävän luokan alarajalla, 7 mg/l, mitä vastaava lannoitusosuus (luokkien välttävä ja tyydyttävä keskiarvo) on ohralle 23 kg P/ha sekä vehnälle ja rypsilä 20 kg/ha. Molemmissa kokeissa sadoissa poistui fosforia vuosittain noin 16 kg/ha, joka sekin riitti suhteellisen hyvin, mutta oli kuitenkin niukahko.

Sekä Mietoissa että Jokioisten Ilolassa kalkitus vaikutti satoon eniten sääoloiltaan epäedullisina kasvukausina, jolloin kasvua häittäsi useimmiten kuivuus. Myös ruotsalaisissa kokeissa suuret kalkkimäärät ovat lisänneet satoa eniten niinä vuosina, jolloin sadot ovat olleet pienimpiä (Simán et al. 1982) Nämä tulokset ovat yhden-suuntaisia Visserin (1938) havaintojen kanssa, joiden mukaan lievästi happaman

maan kalkitus vaikuttaa kasvuun suhteellisen vähän edullisissa oloissa ja lannoituksen ollessa runsas, mutta pH-luvun merkitys kasvaa lannoituksen ollessa niukka tai olosuhteiden ollessa muuten epäsuotuisat. Lievän happamuuden poistaminen toisin sanoen parantaa kasvien vastustuskykyä, mutta ei suurena niiden satopotentiaalia. Runsaan lannoituksen on havaittu lievittävän happamuuden haitallisuutta myöhemmissäkin tutkimuksissa (Jaakkola 1982, Simán 1987, Hiivola 1991, Hakkola 1991).

Asetaattimenetelmän tarkkuus ohran ja kauran fosforin saannin osoittajana parani erittäin ratkaisevasti, kun happamien maiden fosforipitoisuuksia pienennettiin niiden multavuuden ja pH-luvun mukaan lasketuilla kertoimilla (Saarela 1992). Kalkitsemattomalle Ilolan hiuesavelle (Taulukko 1.3) syksyllä 1997 pH:ssa 6,0 kerroin oli:

$$1-0,24 * (7,1-6,0)^2 = 0,71$$

Pienemmällä kalkituksella pH 6,4:ssä vastaava kerroin oli 0,88 ja suurimmalla kalkituksella pH 6,83:ssa 0,98 eli käytännössä yksi. Näillä kertoimilla muunnetut Ilolan hiuesaven fosforipitoisuudet osoitivat oraiden fosforin saantia paremmin kuin alkuperäiset (Kuva 1.1). Myös vastaavat satoja esittävät murtoviivat kuvissa 1.2 ja 1.3 lähenevät toisiaan maan fosforilukujen pH-korjauksen avulla. Yhdessä aikaisempien kenttäkokeiden kanssa (Saarela et al. 1995) nämä tulokset osoittavat korjauskertoimien kehittämisessä käytettyjen astiakokeiden soveltuvan varsin hyvin kalkituksen vaikutusten ennustamiseen myös pellolla. Mietoisten koalueen kaltaisilla vähämultaisilla aitosavilla (kerroin 0,85 pH 6,32:ssa) viljakasvien fosforin saanti paranee ilmeisesti vielä jyrkemmin kuin pelkästään pH-luvun ja multavuuden mukaan laskettu kerroin osoittaa ja hyvin karkeilla mailla todennäköisesti vähemmän. Maan fosforin saatavuuden happamuuskorjaukseen tulisi liittää mukaan tekijäksi maan savespitoisuus tai muu hienouden mittaluku, kuten aikaisemmissa kenttäsovellutuksissa on tehtykin (Saarela et al. 1995).

Vahvasti happamilla mailla asetaattimenetelmällä havaittu fosforin liukoisuuden heikkeneminen (mm. Hiivola 1991, Kempainen et al. 1993) ei osoittane kalkin vaikutusta fosforin saatavuuteen oikein. Happamien kivennäismaiden fosforilukujen virheellisyys ilmeni astiakokeessa selvimmin ilman fosforilannoitusta viljeltäessä (Saarela & Sippola 1987, Saarela 1992). Runsasta fosforilannoitusta käytettäessä neutraalit ja lievästi emäksiset reaktiot vähensivät fosforin ottoa karkeista maista. Viljalla runsas kalkitus vähensi niinsanottua luksusottoa eivätkä sadot pienentyneet, mutta perunalla karkean hiedan kalkitus pH-lukuun 7,0 pienensi myös mukulasatoa, vaikka asetaattimenetelmän fosforiluvut olivat erittäin korkeita, noin 80 mg P/l (Saarela 1999). Fosforin saatavuus neutraalista hieumaasta suhteessa sen asetaattiliukoisen fosforin pitoisuuteen oli heikko myös Jaakkolan et al. (1997) pitkäaikaisessa kenttäkokeessa.

Pellon kalkitseminen pH-lukuun seitsemän tai yli ilmeisesti torjuu aika tehokkaasti möhöjuuritautia, joka vaivaa öljykasveja ja muita ristikkukaisia kasveja. Maan happamuuden lieventyessä yleistyvistä kasvitaudeista on tunnetuin *Streptomyces*-sädessäntien aiheuttama perunarupi (Pietilä 1993), jonka leviämistä rajoittanee lähinnä happamassa maassa esiintyvä liukoinen mangaani. Kalkituksen aiheuttama mangaanin puute taas altistaa viljaa mustatytvitaudille, sillä sitä aiheuttava *Gaeumannomyces graminis* -sieni tunkeutuu juurisolukkoon aiheuttamalla siihen entsyymeilään paikallisen mangaanin puutteen (Graham & Webb 1991). Tyvitautien lisääntyminen onkin ilmeisesti yleisimpiä syitä liiallisen kalkituksen aiheuttamiin sadonvähennyksiin ainakin karkeilla mailla jatkuvasti viljeltävillä ohralla ja vehnällä. Savipelloilla ei yleensä viljellä perunaa, eikä mangaanin puutetta tai sen aiheuttamaa mustatytvitautiakaan pahemmin esiinny ainakaan jäykällä savilla, joilla korkeat pH-luvut muuten näyttävät edullisimmilta. Möhöjuuritautia rajoittava tehokalkitus soveltuu siten savimaille kasvitautien kannalta hyvin. Myös hyödylliset eläimet, ku-

ten lierot, viihtyvät paremmin kalkituissa kuin vahvasti happamissa maissa.

Korkeiden kustannusten takia runsaasta kalkituksesta on saatava tavallisista peltokasveista aika suuria ja pitkäaikaisia sadonlisäyksiä tai sen on korvattava muita panoksia ollakseen kannattavaa. Mietoisten aitosavella käytetty pienempi kalkkimäärä 16 t/ha maksaa peltoon levitettyinä noin 3200 mk/ha. Näin suuren kalkkimäärän vaikutusajaksi voidaan arvioida 20 vuotta (vrt. Jaakkola 1982), jolloin yhtä vuotta kohti aiheutuu kustannuksia 160 mk/ha. Kalkin maksuun tarvitaan viljaa 70 pennin kilohinnan mukaan kaikkiaan 4600 kg/ha ja vuotta kohti 230 kg/ha. Puolelle kalkituskustannuksista laskettu neljän prosentin korko on 64 mk ja sitä vastaava viljamäärä vajaat 100 kg. Vuotuiset kalkituskustannukset ovat noin 224 mk/ha ja niitä vastaava viljamäärä 320 kg/ha. Koko koeajan keskisatoa 16 tonnin kalkitus suurensi 290 kilolla ja kolmen viimeisen vuoden satoa 570 kilolla (Taulukko 1.6). Jos kalkin vaikutus jatkuisi pitkään yhtä hyvänä kuin kokeen lopussa, se olisi hyvin kannattavaa.

Lisätuoton ohella tai asemesta kalkituksella voidaan korvata osa typpi- ja fosforilannoituksesta. Ympäristötuen ehtojen mukainen tarkennettu fosforilannoitus pienee automaattisesti, kun kalkitus suurentaa liukoisen fosforin pitoisuutta. Kotieläintiloilla tämä ei aina ole edullista, koska lannan levitysmahdollisuudet voivat supistua liian pieniksi. Vähennettäessä lannoitusta 10 fosforikilolla rahaa säästyy noin 90 mk, ja 20 typpikilosta säästyy 70 mk. Molemmista ravinteista yhteensä kertyvällä 160 markalla saa peltoon kalkkia 800 kg, ja se on noin 70 prosenttia 16 tonnin kalkituksen vuotuisista kustannuksista, 224 markasta. Jokioisten Ilolan kokeessa 10 tonnin eli 2000 markan kalkitus lisäsi viiden vuoden keskisatoa 240 kilolla ja kolmen viimeisen vuoden satoa 310 kilolla (Taulukko 1.7). Pienemmän kalkkimäärän vaikutusaika on todennäköisesti lyhyempi, ehkä noin viisi-toista vuotta. Sen mukaan saadaan vuotuisiksi kustannuksiksi korkoineen $133 + 40 = 173$ mk/ha ja vastaavaksi viljamääräksi

250 kg/ha. Ilolan kokeessa käytetty 10 tonnin kalkitus, joka oli vähän nykyisiä suosituksia runsaampi (Elonen et al. 1997), oli siten nykyisillä viljan hinnoilla kannattava. Hiukan suurempikin kalkkiannos olisi saattanut olla ainakin yhtä kannattava kuin 10 t/ha, mutta nykyisillä hintasuhteilla 24 t/ha oli epätaloudellisen suuri määrä.

Toinen tapa taloudelliseen tarkasteluun on olettaa pH-luvun nousun vaikutuksen jatkuvan äärettömästi, kun saavutettua tilaa pidetään yllä toistuvilla ylläpitokalkituksilla. Tällöin peruskalkitukseen sijoitetulle pääomalla tulee laskea tasasuuruise- na pysyvä vuotuinen korko, joka 16 tonnin eli 3200 markan kalkitukselle on neljän prosentin mukaan 128 mk ja 10 tonnin eli 2000 markan kalkitukselle 80 mk. Peruskalkituksen hinnan lisäksi kustannuksia aiheutuu kasvavasta ylläpitokalkituksen tarpeesta, joka johtuu pH-luvun myötä nopeutuvasta emäskationien huuhtoutumisesta (Rowell 1988, Haak & Simán 1992). Ruotsissa kalkituksen aiheuttamaksi vuotuiseksi kalkin huuhtoutumisen kasvuksi on pH-välillä 6,2–7,0 laskettu 500 kg/ha.

Suomen savimailla huuhtoutuminen lienee vähän hitaampaa kuin pitemmän kesän oloissa enimmäkseen melko hyvin vettä läpäisevillä ruotsalaisilla mailla. Mietoissa pH:n nostaminen 16 kalkkitonnilla 6,3:sta 7,0:aan lisäsi kalkin vuotuista huuhtoutumista arviolta noin 350 kilolla hehtaarilta ja Jokioisten Ilolan kokeessa 10 kalkkitonnilla 6,0:stä 6,4:ään 130 kilolla hehtaarilta. Ylläpitokalkituksen vuotuiset hehtaarikustannukset kasvavat Mietoissa 70 mk ja Ilolassa 26 mk. Kalkituksen vuotuiset kokonaiskustannukset ovat Mietoissa 198 mk/ha ja Ilolassa 106 mk/ha sekä vastaavat viljamäärät 280 ja 150 kg/ha. Pellon viljavuuden pysyvän paranemisen oletuksella kannattavat viljasadon lisäykset ovat Mietoissa yhtä suuria mutta Ilolassa selvästi pienempiä kuin kalkituksen vaikutusajan ollessa rajoitettu. Kun liuenneen kalkin huuhtoutuminen pH 6,5:ssä on vielä suhteellisen vähäistä, tämä taso on edellä esitettyjen tulosten valossa pitkän ajan tavoitteeksi todennäköisesti liian alhainen.

Kalkituksen kannattavuus riippuu suu- resti sekä siihen sijoitetun pääoman korosta että huuhtoutumisen kasvusta, joka esite- tyissä laskelmissa perustuu aika summittai- siin arvioihin. Suurimpien kokeessa käytet- tyjen kalkkimäärien päätarkoituksena ei ollut niiden kertalevitys käytännössä, vaan edullisimman pitkän ajan tavoitteen selvit- täminen. Mietoisten aitosaven kaltaisilla, melko vähämultaisilla mailla pH-tavoite kannattanee asettaa nykyisiä suosituksia selvästi korkeammaksi ja jatkaa kalkin le- vitystä myös pH-luvun ollessa välillä 6,5– 7,0. Fosforin saannin kannalta ja ehkä muutenkin edullisin maan pH-luku näyt- tää olevan Keski-Euroopassa käytettävien suositusten mukaisesti (Schachtschabel 1976, Finck 1992) sitä korkeampi mitä enemmän maassa on savesta orgaaniseen aineeseen verrattuna. Ruotsalaisissa kalki- tuskokeissa (Simán et al. 1982, Haak & Siman 1992, 1997), joissa maan savespi- toisuus on määritetty, kalkituksen vaiku- tus satoon kasvoi omien tilastollisten las- kelmiemme mukaan merkitsevästi paitsi pH-luvun laskiessa, myös maan savespi- toisuuden kasvaessa. Tanskassa runsaasta kal- kituksesta hyötyvät tavallista enemmän pahoin tiivistyneet marskimaat, joiden huono rakenne johtuu natriumin ja mag- nesiumin suuresta osuudesta vaihtuvista kationeista sekä absoluuttisesti että suhtees- sa kalsiumiin (Hansen 1969). Tällaisten maiden parantamiseen soveltuvat myös kipsi ja sitä sisältävä superfosfaatti, jonka levittäminen peltoon maanparannukseen tarvittavina 10–20 tonnin annoksina hehtaarille ei kuitenkaan sovellu käytäntöön.

Kalkitustarpeen pääkriteeriksi ehdotettu liukoinen alumiini (Stålberg 1982) saostuu jo pH kuudessa aika täydellisesti (Haak & Simán 1992) ja esiintyy samalla pH-tasol- la yleensä hyvin samanlaisina pitoisuuksi- na ainakin kivennäismaissa (Stålberg 1982, Rowell 1988). Sillä ei siten liene kovin suurta vaikutusta savimaiden pH-optimiin. Toisaalta alumiininkaan myrkyllisyysraja ei ilmeisesti ole pellossa niin jyrkkä kuin koe- putkissa tehdyt mittaukset osoittavat, sillä maan reaktiossa on paikallista tai pesäkkeel-

listä (spatiaalista) vaihtelua. Esimerkiksi sijoitettu ammoniumtyppi saattaa laskea lannoiterivin pH-lukua jopa kokonaisilla yksiköillä (Saarela 1983b). Aitosavissa ja muissa arveluttavan runsaasti magnesiumia sisältävissä savissa kalsiittikalkki voi olla hyödyllistä myös vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin suhteen parantajana, sillä liian suuri magnesiumin osuus voi mm. heikentää maan mururakennetta (Hansen 1969). Magnesiumpitoisten kalkitusainesten käyttö on usein tarpeen liejusavilla, joissa vaihtuvan magnesiumin pitoisuudet ovat paikoin hyvinkin alhaisia, mutta muille savikoille kalsiittikalkki soveltuu yleensä paremmin (Jokinen 1985).

Kevyemmillä ja runsasmultaisemilla savilla nykyiset kalkitussuositukset näyttävät olevan aika lähellä optimia, mutta niiden pH-tavoitteet ovat kuitenkin pikemmin liian pieniä kuin liian suuria. Kalkituksen vaikutus maan typpitalouteen, joka on ollut hyvin selvä myös aikaisemmissa pohjoismaisissa kokeissa (Simán et al. 1982, Lyngstad 1986, Saarela 1989, Haak & Simán 1992, Haak 1993), ei näytä riippuvan maan saveksen ja orgaanisen aineksen suhteesta yhtä selvästi kuin kalkituksen vaikutus fosforin saatavuuteen. Lähinä kasvien tynen saannin parantamiseksi näyttää aiheelliselta tutkia tavallista runsaampaa kalkitusta myös jonkin verran karkeammilla ja runsasmultaisemilla maille. Myös Mietoisten aitosavella saatujen tulosten yleistettävyyttä olisi ehkä tarpeen varmentaa parilla lisäkokeella. Mietoisten koeluetta voidaan tuskin verrata tanskalaisiin marskimaihin, mutta siinäkin on aika runsaasti magnesiumia, joka natriumin ohella voi huonontaa maan rakennetta (Hansen 1969). Muutaman sadan metrin päässä merestä ja vain kymmenkunta metriä sen pinnan yläpuolella sijaitseva koe-kenttä saattaa kuitenkin olla ominaisuuk-siltaan erilainen kuin sisämaassa sijaitsevat maalajiltaan, savespitoisuudeltaan ja multavuudeltaan samanlaiset pellot, ja paikallista vaihtelua maan ominaisuuksiin aiheuttavat monet muutkin luontaiset tekijät sekä maanparannus- ja viljelytoimet.

Ruotsalaisissa suurten kalkkimäärien kokeissa pH:n nostaminen yli seitsemän on parantanut kasvua myös melko kevyillä savilla (Simán et al. 1982).

Kalkituksen ja fosforin vuorovaikutusten tutkimiseen käytännön viljelyoloissa soveltuvat monivuotiset monitekijäkokeet ovat varsin työläitä ja kalliita. Kenttäkokeiden tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä haittaavat lisäksi nimenomaan näiden tekijöiden yhdysvaikutuksessa todetut poikkeuksellisen suuret ajalliset ja paikalliset vaihtelut. Kalkituksen aiheuttamien fosforin saatavuuden muutosten ennustamiseen soveltuva kemiallinen testi olisi siten erittäin hyödyllinen sekä tutkimuksen että käytännön kasvintuotannon kannalta. Lupaavimpia tekniikoita tähän tarkoitukseen ovat uudet diffuusiotestit (Saarela 1992), joilla fosforin desorptioaikaa ja -olosuhteita voidaan joustavasti säädellä.

Toinen tapa kokeelliseen tutkimukseen käytettyjen resurssien tuottavuuden parantamiseksi on mahdollisimman monipuolisten havaintojen tekeminen samoista kokeista. Kasvinravitsemuksen ja kasvintuotannon kannalta keskeinen aihe on runsaan kalkituksen seurauksena maan typpitaloudessa tapahtuneet hyvin oleelliset muutokset. Vilkastuvan nitrifikaation (Olness 1999) lisäksi useat muutkin kemialliset, fysikaaliset ja biologiset tekijät saattavat edistää kalkittaessa tynen saantia. Maan ja kasvien fosforitalouteen vaikuttavista aiheista ovat keskeisimpiä kasvien juuristo ja sen kanssa yhteistyössä toimivat mykorritsasienet sekä maan rakenne ja vesitalous, jotka puolestaan riippuvat mm. maaeläimistä ja mikrobeista. Ruotsalaisten maiden rakenne on muuttunut kaikkikivijauheella erittäin suurista ainemääristä (2,5 % maasta) huolimatta aika vähän (Simán et al. 1982).

1.4 Yhteenveto ja päätelmät

Savimaan fosforivarojen hyödyntämisen tehostamista runsaalla kalkituksella tutkittiin monivuotisilla fosforilannoitus-kalkituskokeilla kolmella koepaikalla: Mietois-

ten melko vähämultaisella, lievästi happamalla ja fosforitilaltaan keskinkertaisella aitosavella sekä kahdella Jokioisten hiuesavella, joista toinen oli lievästi hapan ja keskifosforinen, toinen lähes neutraali ja runsasfosforinen. Koekentillä viljeltiin ohraa, kevätvehnää ja kevätrypsyä tavanomaista tai kevennettyä muokkausta käyttäen, ja niistä tutkittiin kemiallisen viljavuuden kehitystä. Koekasveista mitattiin siemensadot sekä niiden ulkoinen laatu sekä fosfori- ja typpisisältö. Kasvien fosforin saantia seurattiin orasanalyysillä.

Lievästi happamien keskifosforisten savimaiden kalkitus suunnilleen pH-lukuun seitsemän eli neutraaliksi suurensi asetaattimenetelmällä määritettyjä maan liukoisen fosforin pitoisuuksia noin puolitoistaker-taisiksi. Kalkitus suurensi myös maan joh-tolukua, mikä osoitti kalsiumin huuhtoutumisen nopeutumista vetykarbonaatti-ionien mukana ja todennäköisesti myös maan mururakenteen vahvistumista. Kevätvehnän ja ohran oraiden fosforin saanti ja kasvu näyttivät paranevan kalkituksella vähintään yhtä paljon kuin maan fosforilukua saman verran suurentavalla, edellisinä vuosina annetulla fosforilannoituksella. Ohran jyväsatojen fosforipitoisuuden nousun ja satojen fosforin oton mukaan fosforin saanti näytti ainakin aitosavella paranevan enemmänkin kuin maa-analyysi osoitti. Aikaisempien astiakokeiden perusteella laskettu happamuuskorjaus, joka pienentää fosforipitoisuutta pH 6,0:ssa 30 prosentilla neutraaliin reaktioon verrattuna, näytti hiuesavella soveltuvan hyvin myös kenttäkokeisiin. Aitosavella samanlainen pH-korjaus, jossa maan hienoutta ei oteta huomioon, oli sen sijaan riittämätön. Kalkitus vähensi fosforilannoituksen vaikutusta ja tarvetta selvästi aitosavella, mutta hiuesavella aika heikosti eikä tilastollisesti merkitsevästi.

Koepaikkojen happamuus oli niin lievä, ettei sen aikaisempien tutkimusten mukaan pitänyt merkittävästi heikentää viljan kasvua. Sadot suurenvat kuitenkin runsaalla kalkituksella erityisesti sääoloiltaan epäsuotuisina vuosina paljon enem-

män kuin pelkällä fosforilannoituksella. Kun myös näiden koetekijöiden yhdysvai-kutus oli heikko, kalkituksen aiheuttamien sadonlisäysten on täytynt perustua suurelta osin muiden kasvutekijöiden paranemiseen. Tärkeäksi sadonlisäyksen syyksi todettiin kasvien typen saannin paraneminen, sillä kalkituksen suurentaessa vilja- ja rypsisatoja niiden typpipitoisuudet eivät pienentyneet, vaan jopa suurenvat. Satojen maasta ottamat typpimäärät kasvoivat siten runsaalla kalkituksella hyvin merkittävästi ja vastaavasti maahan jääneen lannoitetyypen laskennalliset määrät pienenivät. Kalkitus lisäsi satoja ja ravinteiden ottoa säännöllisemmin kuin fosforilannoitus, minkä pääteltiin johtuneen sen useaan kasvutekijään kohdistuvasta vaikutuksesta.

Nykyisten kalkitussuositusten mukainen tutkittujen savimaiden pH-tavoite on vähintään 6,4. Lievästi happamalle Mietoisten aitosavimaalle, jonka pH-luku oli ennen kalkitusta 6,3, kannatti kuitenkin levittää kalkkia 16 t/ha, joka nosti sen pH-luvun seitsemään. Tämän koalueen kaltaisilla, suhteellisen vähämultaisilla ja jäykkillä savimailla kalkituksen pitkän ajan pH-tavoitetta tulisi tulosten mukaan jonkin verran nostaa nykyisestä. Jokioisten hiuesavea, jonka pH-luku kokeen alussa oli 6,1, kannatti kalkita vähintään pH-lukuun 6,4 eli suositusten mukaisesti, ja pitkällä tähtäyksellä vähän korkeampi pH-luku on todennäköisesti edullisempi. Sadonlisäyksen ohella runsas kalkitus tuottaa taloudellista hyötyä fosfori- ja typpilannoituksen vähenyksestä saatavilla säästöillä.

2 Ruokamullan ja fosforin syvämultaus

Lannoituksella rikastetun ruokamullan syvyys vaikuttaa kasvien fosforin saantiin eniten pitkinä poutakausina, jolloin kuivassa pintamaassa olevat ravinteet eivät ole juurten saatavilla. Pitempään kosteana pysyvissä syvemmissä maakerroksissa on niu-

kasti fosforia, joka ei juuri huuhtoudu maan läpi valuvan veden mukana alaspäin. Fosforipitoisen ruokamullan tai fosforilannoitteiden syvämultauksella voidaan siten varmistaa fosforin saantia ja parantaa satoja kuivina kasvukausina. Syvään lannoitettuun kerrokseen kasvava laaja juuristo turvaa riittävän fosforin saannin laihemmasmaasta myös kosteissa oloissa ja vähentää viljelyn aiheuttamaa vesistöjen rehevöitymistä. Syvämultauksella on potentiaalisia etuja sekä maataloudelle että ympäristölle, mutta paljon vetovoimaa vaativana menetelmä on kuitenkin melko kallis ja maan luontaista rakennetta tuhoavana siitä voi olla myös haittaa. Ruokamullan syventämien tavallisella syväkynnöllä soveltuu parhaiten jäykille savimaille, joiden murut kestävät vettä, mutta runsashiesuisilla maalajeilla jankon nostaminen pintaan voi pilata maan rakenteen pitkäksi ajaksi. Erikoisauralla tehty syvämultaus, jossa maan pintaan jää yhtenäinen kerros alkuperäistä ruokamultaa, saattaa soveltua myös helposti liettyville ja tiivistyville hiesumaille.

2.1 Johdanto

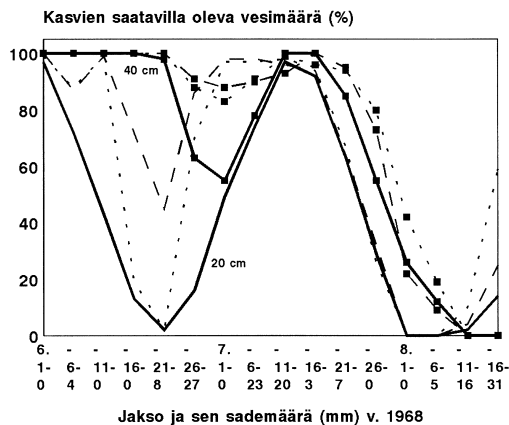
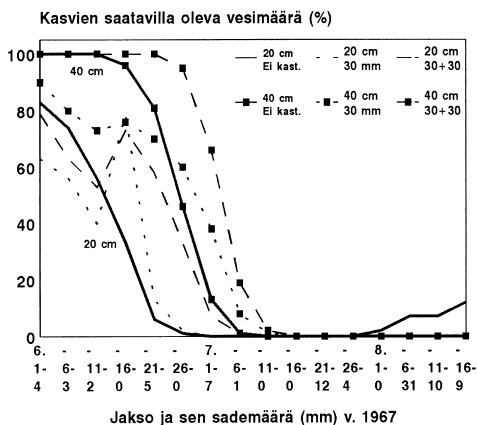
Aikaisemmissa tutkimuksissa syvälle maahan sijoitetut ravinteet ovat parantaneet kasvua, kun jankko on ollut niukkaravinteista ja kasvukauden alkupuoli kuiva. Syvälannoitus on lisännyt satoa myös pintaamaan ollessa niin viljavaa, että siihen lisätyt ravinteet ovat olleet täysin tehottomia. Jokioisten niukkafosforisella savimaalla todettiin kevennettyä muokkausta ja normaalia kyntöä verrattaessa, että matala muokaus ja niukka fosforilannoitus on huono yhdistelmä erityisesti kuivina keväinä. Jäykän savimaan kuiva pintakerros syvenee poutakausien aikana 10–14 mm vuorokaudessa, ja käyttökelpoinen vesi loppuu normaalisyyteisestä ruokamullasta kesäkuun puolivälissä eli sadonmuodostuksen kannalta kriittisessä vaiheessa korrenkasvun alussa. Ruokamullan ja fosforin syvämultauksella pyritään pidentämään hyvää fosforin saantia kevätkesteuden turvin.

2.1.1 Teoreettiset perusteet

Jos maassa vallitsevat optimaaliset kosteusolot koko kasvukauden ajan ja fosforin väkkyvyys juuria ympäröivässä maanesteessä on hyvin suuri, kasvit saavat fosforia riittävästi pienestäkin maatilavuudesta, jopa yhdestä kymmenesosasta juuriston koko tilavuudesta (Barber 1995). Fosforin ottoon arvioidaan tarvittavan juurten yhteispituudesta noin yksi viidesosa, mutta juuriston tiheneminen viljavissa kohdissa pienentää tarvittavaa maatilavuutta noin puolella. Jos ravinteita ottavan tiheän juuriston syvyudeksi arvioidaan 40 cm, fosforia ei tarvitsisi olla enempää kuin neljän senttimetrin paksuisessa kerroksessa. Kun kasvit saavat suurimman osan tarpeestaan maassa ennestään olevista fosforivaroista, lisättyä lannoitetta ei tarvitse sekoittaa näinkään suureen maamäärään. Lannoituksen osuuden ollessa viljaville maille tyyppillinen 10 prosenttia fosforin tarpeesta, lannoite voidaan sijoittaa edullisissa kosteusoloissa yhteen prosenttiin juuriston tilavuudesta eli neljän millimetrin paksuiseen kerrokseen tai kapeciin riveihin.

Fosforin saantia rajoittaa pelto-oloissa kuitenkin yleensä maanesteen laimeus, ja juuristoa tarvitaan riittävän ravinnemäärän ottoon sitä enemmän mitä laimeampaa maaneste on. Maan viljavuus on optimaalinen, kun juuriston koko kapasiteetti on käytössä ja saatu fosforimäärä vastaa kasvin tarvetta. Kaikkein laihointa maa voi olla silloin, kun fosforia on saatavana koko juuriston tilavuudesta. Ravinnerikkaan kerroksen kaksinkertaistuminen kahdestakymmenestä neljäänkymmeneen senttimetriin pienentäne sen riittävää fosforipitoisuutta syväjuurisilla kasveilla noin puolella.

Syvän lannoituksen hyödyllisyyttä saatava vähentää se, että kriittisin vaihe kasvien fosforin saannissa on alkukehitys, jolloin juuristo on vielä matala ja syvällä olevat ravinteet sen ulottumattomissa. Maan pinnan kuivuminen puolestaan korostaa syvän lannoituksen hyödyllisyyttä. Kun savimaan pinnasta viiden senttimetrin kerros on ilmakuivaa ja juuretonta, mikä on tavallinen



Kuva 2.1. Kasvien saatavilla olevien vesivarojen vaihtelu 20 ja 40 cm:n syvyydessä Espoon jäykässä savimaassa kasvukausina 1967 ja 1968 (Elonen & Kara 1972).

tilanne Etelä-Suomen savimailla keväällä (Elonen 1980), 20 cm:n paksuisen ruokamullan syventyessä 35 cm:iin sen hyötytilavuus kaksinkertaistuu. Kosteaan maahan lähelle siemeniä sijoitettu starttifosfori on teoreettisesti erittäin edullista sekä pinnaltaan kuivuvilla että syvällä muokkauksella laimennetuilla mailla.

Fosforin syvämultauksen suurin teoreettinen etu on tehokkaan fosforin oton jatkuminen pitkänä poutakausina, jolloin maan pinnan kuivuminen estää sen riittävän saannin matalasta kyntökerroksesta. Juuret eivät kasva lainkaan kuivaan maahan, ja kosteuden väheneminen juurten ympäriltä myöhemmin hidastaa jyrkästi nimenomaan fosforin kaltaisten, lujasti maahan pidättyvien ravinteiden ottoa (Nye & Tinker 1977, Barber 1995). Sijoitettuihin lannoiteriveihin kasvava tiheä juuristo parantaa fosforin saantia kuivuuden ollessa lyhytaikaista ja lievää, mutta pitkän ja ankaran kuivuuden haittoja tavallinen sijoituslannoitus ei poista. Suomen oloissa maa on keväällä roudan sulamisen jälkeen märkää ja kuivuu aluksi pinnaltaan. Etenkin muruisissa savissa ilmakeivän ja kostean maan raja pysyy jyrkkänä orasvaiheeseen saakka. Tällöin tavalliseen tapaan noin 8 cm:n syvyyteen sijoitettu lannoite saattaa vaikuttaa aluksi tehokkaasti, mutta poudan jatkuessa maa kuivuu vähitellen yhä

syvempää ja myös lannoiteriveistä, jolloin ravinteiden otto niistä vaikeutuu.

Vähäsateisina alkukesinä normaalisyvyinen kyntökerros kuivuu Etelä-Suomen savimailla pohjaan saakka jo kesäkuun puolivälin jälkeen, kuten nähdään Elonen ja Karan (1972) mittauksen mukaan laaditusta kuvasta 2.1. Kuva esittää Espoon jäykän hiesusavimaan (savesta kyntökerroksessa 50–52 %, jankossa yli 60 %) kuivumista eri syvyyksistä kahtena kuivana 1960-luvun kasvukautena. Vuonna 1967, jolloin koko kesäkuun ja heinäkuun alun sadanta oli yhteensä vain parikymmentä millimetriä, eivät edes kaksi 30 mm:n sadetusta estäneet kasvien saatavissa olevan veden loppumista 40 cm:n syvyydestä saakka. Vuonna 1968 kesäkuun alku oli vielä sateettomampi, kun 1.–20. kesäkuuta satoi vain 4 mm (Kuva 2.1), mutta runsaat sateet alkoivat kesäkuun lopussa ja jatkuivat heinäkuussa. Yksi aikainen sadetus (9. kesäkuuta) hidasti maan kuivumista 20 cm:n syvyydessä vain muutamalla päivällä, mutta toinen sadetus kuusi päivää myöhemmin piti maan hyötykapasiteetin vähintään puolillaan.

Eloson ja Karan (1972) tutkimuksessa jäykän savimaan käyttökelpoinen vesivara-asto puolittui 40 cm:n syvyydessä vuonna 1967 noin kaksi viikkoa myöhemmin kuin 20 cm:n syvyydessä, ja vuonna 1968 vastaava ero oli jopa kolme viikkoa (Kuva 2.1).

Vuonna 1989 Jokioisten Ojaisten lohkolla (Taulukot 1.1 ja 1.4) savimaa kuivui 40 cm:n syvyydestä noin kaksi viikkoa myöhemmin kuin 20 cm:n syvyydestä, ja matala muokkaus hidasti kuivumista kyntöön verrattuna lähes viikolla molemmissa syvyyksissä (Tiiri 1991). Saven kuiva pintakerros syveni Espoossa ja Jokioisissa 10–14 mm vuorokaudessa. Kuivumisnopeutta voidaan tarkastella myös veden haihtumisnopeuden ja maan hyötykapasiteetin mukaan. Kun hyötykapasiteetti on 18 prosenttia maan tilavuudesta ja siitä haihtuu 2–3 mm/vrk, käyttökelpoisesta vedestä tyhjentynyt pintakerros syvenee 11–17 mm/vrk. Pieni lehtiala ja veden kapillaarista liikkumista hidastava muruinen maan pinta vähentävät haihtumista, joten potentiaalisen haihdunnan ja sadannan erotus eli sadannan vajuus on ainakin toukokuussa ja kesäkuun alussa paljon suurempi kuin todellinen maan vesivaraston väheneminen. Syysviljat ja aikaisin kylvetyt kevätiljat voivat haihduttaa vettä kosteasta maasta sadetuksen jälkeen kesäkuun puolivälissäkin jo 5 mm/vrk (Mylly & Elonen 1989). Pitkinä poutakausina, jolloin maan kuivuminen eniten haittaa ravinteiden ottoa, haihdunta lienee kuitenkin hitaampaa kuin sadetuksen jälkeen.

Koska liukaisen fosforin pitoisuudet pienenevät syvemmälle maahan mentäessä jyrkästi heti kyntökerroksen alla (Taulukko 1.1), fosforin saanti vaikeutuu erittäin jyrkästi koko muokkauskerroksen kuivuesssa. Viljan sadonmuodostuksen kannalta fosforin puute sattuu tällöin hyvin kriittiseen vaiheeseen eli korrenkasvun alkuun, jolloin kasvuston jyväluku määräytyy. Syventämällä lannoitettua kerrosta 10–20 cm:llä hyvää fosforin saantia voidaan jatkaa kevätkosteuden turvin edellä esitetyn tarkastelun mukaan 6–18 vuorokaudella. Yhdessä kosteutta säästävän muokkauksen kanssa syvälle sijoitettu fosfori voi olla helpposti kasvien saatavilla jopa 12–24 vuorokautta tavallista pitempään.

Fosforin saanti maasta on Suomen olosuhteissa vaikeinta kuivina kasvukausina, ja silloin myös lannoitustarve on suurimmil-

laan (Larpes 1977, Saarela 1983a, Saarela et al. 1995). Erityisesti poudanaroilla kivennäismailla ruokamullan syventäminen parantanee fosforin saantia myös fosforilannoitteen määrän pysyessä samana, vaikka sen väkevyys maan pinnassa pienenee ja huuhtoutuminen vesistöihin vähenee. Ruokamullan laimeneminen tekee mahdolliseksi lisätä lannoitusta viljavuustutkimuksen perusteella tukiehtojen puitteissa, mutta kunnolla kalkituilla mailla se ei liene tarpeellista eikä kannattane ainakaan ostolannoitteita käytettäessä. Mahdollisuus lisätä kotoisen lannan käyttöä ympäristötuen ehtojen puitteissa saattaa sen sijaan olla edullista karjatiljoilla.

Lannoitteiden tai lannan syvämultausta kyntämällä tai muilla menetelmillä on paljon vetovoimaa vaativa ja kallis työvaihe, jota ei voida kannattavasti toistaa kovin usein. Viljoilla, öljykasveilla ja nurmikierrossa se voitaneen tehdä suunnilleen viiden vuoden välein. Riittävän suuria fosforimääriä käytettäessä yhden käsittelyn tehokas vaikutus kestää kymmenkunta vuotta, jolloin vuotuiset kustannukset jäävät kohtuullisiksi. Hyvin runsasfosforisen ruokamullan tehokas vaikutus kestää vieläkin kauemmin, jopa 20–40 vuotta. Käsittelyn vaikutusaikaa voitaneen pidentää myös lannoitteen kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia sekä multaustapoja kehittämällä, jos menetelmä osoittautuu muuten käyttökelpoiseksi. Fosforin syvämultauksen tuloksia voidaan soveltaa sekä muokkaussyvyyden optimoinnissa että maan fosforin saatavuuden ja lannoitustarpeen tarkennetussa arvioinnissa myös tavanomaisia ja kevenettyjä muokkaustekniikoita käytettäessä.

2.1.2 Aikaisemmat tutkimukset

Ulkomailla pitkän kasvukauden oloissa syvälle maahan sijoitetut ravinteet ovat parantaneet kasvua, kun jankko on ollut niukkaravinteista ja kasvukauden alkupuoli kuiva (Patrick et al. 1959). Myöhemmin kasvukaudella esiintynyttä poutaa syvälannoitus ei ole merkittävästi helpottanut. Fosforin ja kaliumin syvälannoitus on li-

sännyt satoa myös pintamaan ollessa niin viljavaa, ettei näiden ravinteiden lisääminen siihen vaikuttanut satoon lainkaan (McEwen & Johnston 1979). Syvälannoituksen tehokas vaikutus kesti 4-vuotisten kokeiden loppuun saakka (Kuva 2.7a). Syvälle sijoitetut ravinteet saattavat edistää juuriston syvyyskasvua ja parantaa pouta-kausina myös kasvien vedensaantia, ja sijoitettuihin lannoiteriveihin kasvava vahva juuristo vaikuttaa edullisesti maan rakenteeseen ja estää sen tiivistymistä uudelleen (Kohnke & Bertrand 1956).

Suomessa Larpes (1967) on tutkinut kevätiljojen syvälannoitusta 1960-luvulla Tikkurilassa. Karkealla hiedalla ja hiesusavella vehnän ja ohran hehtaarisadot vaihtelivat siellä tuhannen kilon paikkeilla eivätkä korjaantuneet jankon käsittelyllä. Hietasaven noin kolmen tonnin hehtaarisadot sen sijaan suurenvivat tilastollisesti merkitsevästi, kahtena vuonna keskimäärin 350 kilolla. Tämä oli hiukan enemmän kuin rivilannoituksella saatu 330 kg/ha. Jankkurointi 30 cm:n syvyyteen jäi ilman fosforilisää vain hiukan heikommaksi kuin yhdessä sen kanssa, eikä syvälle mullatun fosforin vaikutus ollut merkitsevä. Larpeksen tutkimuksessa hietasavimaan jankon mekaaninen kuohkeuttaminen, joka väistämättä liittyy ravinteiden syvämultaukseen, oli siis hyödyllinen käsittely. Myöhemmissä tutkimuksissa jankon ja pohjamaan mekaaninen kuohkeuttaminen järeillä laitteilla ei sen sijaan ole parantanut kasvua toivotulla tavalla (Alakukku & Elonen 1997), ja huonojen koetulosten perusteella syvää muokkausta ei nykyisin suositella lainkaan edes pahoin tiivistyneille maille (Alakukku 1997). Lannoitteiden syvämultaus voi epäilemättä huonontaa maan rakennetta ja väärällä tavalla tehtynä pilata sen hyvinkin pahoin. Esimerkki sellaisesta käsittelystä, jonka vaikutus melko varmasti olisi haitallinen, on runsashesuisen maan syväkyntö.

Aikaisemmat tutkimukset osoittavat, että fosforin syvämultauksella on potentiaalisia etuja, jotka edellisen kohdan mukaan ovat teoreettisesti hyvin ymmärrettävissä, mutta siihen liittyvä maan mekaaninen

käsittely voi myös olla haitallista. Fosforin syvämultauksen etujen tehokas hyödyntäminen kasvintuotannossa ja maatalouden ympäristönsuojelussa edellyttää maan rakennetta parantavien tai säästävien syvämultausmenetelmien kehittämistä.

2.1.3 Alustavat havainnot

MTT:ssä tutkittiin 1980-luvulla peltokasvien fosforin saantia analysoimalla tuoreista lehtinäytteistä epäorgaanisen fosforin pitoisuus (Saarela 1990b). Tämä menetelmä osoittaa pienet fosforin saannin erot paljon herkemmin kuin kasviaineksen fosforin kokonaispitoisuus ja ilmaisee mm. erilaisista säistä johtuvan ajallisen vaihtelun hyvin selvästi. Runsasfosforisella Jokioisten hiesavella (Taulukko 1.1) fosforin saanti oli yltäkylläistä kosteina kausina, mutta kuivana vuonna 1986 vehnän fosforin saanti oli ajoittain puutteellista jopa runsaan fosforilannoituksen joka vuosi saaneissa koeruuduissa. Vuonna 1994 fosforilannoitus vaikututti kevätehnän satoonkin tilastollisesti merkitsevästi (Saarela et al. 1995).

Saman kokeen vuosien 1990–1992 nurmisadoissa ei ollut merkitseviä eroja, mutta vuonna 1992 hyvin kuivissa oloissa toisen sadon fosforipitoisuus jäi alhaiseksi ja kasvin N/P-suhde kasvoi paljon tavallista suuremmaksi (Taulukko 2.1). Nurmisadon ravinnepitoisuuksien mukaan kuivalla savimaalla vaikeutuu siis paljon enemmän fosforin kuin typen saanti. Vuodesta 1994 alkaen fosforilannoitus lisäsi vilja- ja rypsisatoja useimpina vuosina merkitsevästi, vaikka pintamaan liukoisen fosforin pitoisuus oli edelleen korkea (Taulukot 1.4 ja 1.8). Fosforin saannin vaikeus johtui todennäköisesti paljolti kyntökerroksen kuivumisesta ja sen alapuolisen maan pienestä liukoisen fosforin pitoisuudesta. Vaikeaan fosforin saantiin viittaavat myös viljasatojen fosforipitoisuudet, jotka olivat kyntökerroksen hyvään fosforitilaan nähden pieniä.

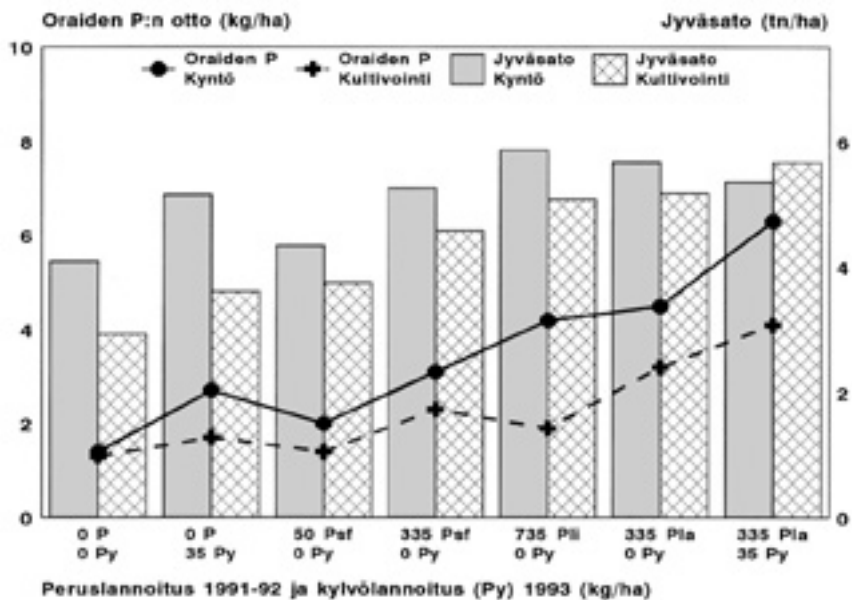
Matalasta lannoitteiden multauksesta johtuvan ruokamullan alaosan huonon fosforitilan merkitystä tutkittiin niukkafosforisella savimaalla Jokioisten Yönissä vuosi-

Taulukko 2.1. Koiranheinävaltaisen nurmen kuiva-ainesato ja sen fosforipitoisuus sekä fosforin otto ja sadon N/P-suhde runsasfosforisella hiuesavella Jokioisten Ojaisilla (hiuesavi O Taulukossa 1.1).

Vuosi Niitto	P-lann. kg/ha	1990			1991			1992	
		1	2	3	1	2	3	1	2
Kuiva-ainesato, kg/0,1 ha	0 45	301 383	408 388	159 155	256 257	347 343	470 475	149 146	117 109
Sadon fosfori, P, g/kg k.a.	0 45	3,1 3,1	3,3 3,5	3,8 4,0	4,4 4,7	3,6 3,8	3,9 4,1	3,2 3,2	2,5 2,6
Fosforin otto, kg P/ha	0 45	9,5 8,7	13,4 13,6	6,0 6,2	11,1 12,0	12,5 12,9	18,5 19,3	4,7 4,7	2,9 2,8
Sadon N/P-suhde	0 45	8,4 8,3	7,1 6,2	7,2 6,8	7,3 7,0	7,1 6,8	5,5 5,3	5,2 5,1	12,2 12,8

na 1992–1994. Kokeessa verrattiin normaalia 20–22 cm:n syvyistä kyntöä noin puolta matalampaan kultivointiin (Saarela 1994). Kuivana kasvukautena vuonna 1992 kyntö tuotti niukalla fosforilannoituksella hiukan suurempia kaurasatoja kuin kultivointi, mutta runsasta fosforilannoitusta käytettäessä saatiin viljaa eniten matalalla syysmuokkauksella, joka paransi poudankestävyyttä. Vuonna 1993 edellisenä syksynä määrissä oloissa tehty kultivointi ja

kylvön jälkeen neljä viikkoa jatkunut pouta vaikeuttivat kevätvehnän orastumista, mutta keskikesä oli edullinen. Satoerot olivat vehnällä samansuuntaisia mutta suurempia kuin kauralla edellisenä vuonna. Orasanalyysit osoittivat, että vaikeissa oloissa kevennetyllä muokkauksella ja niukalla fosforilannoituksella saadut huonot vehnäsa-dot johtuivat paljolti fosforin puutteesta orastumis- ja pensomisvaiheessa (Kuva 2.2). Vuonna 1994 ohra orastui kosteissa olois-



Kuva 2.2. Fosforilannoituksen ja syysmuokkauksen vaikutus kevätvehnän oraiden fosforin saantiin ja jyväsatoon niukkafosforisella Jokioisten savimaalla vuonna 1993.

sa hyvin molemmilla syysmuokkaustavoilla, eikä näiden välillä ollut lainkaan satoerojakaan. Tämän kokeen mukaan matala muokkaus ja niukka fosforilannoitus voi olla savimailla erityisesti vaikeissa kasvuoissa huono yhdistelmä.

Alustavat kokeet ja havainnot osoittavat, että runsasfosforisesta ruokamullasta ja runsaasta fosforilannoituksesta huolimatta kyntökerroksen kuivuminen voi estää kasvien riittävän fosforin saannin pitkien poutakausien aikana. Kuivassa maassa helpommin liikkuvan nitraattitypen saanti ei vaikeudu yhtä paljon, ja muita ravinteita kuten kaliumia on yleensä saatavana myös maan syvemmissä kerroksissa, jossa kosteus säilyy kauemmin ja juurten toiminta jatkuu poutakausien yli. Maan pintaan kertyneen fosforin multaaminen kyntämällä osoittautui savimaalla edulliseksi, kun kylvön jälkeen sattui usean viikon pituinen poutajakso.

2.2 Aineisto ja menetelmät

Fosforin syvämultausta tutkittiin monivuotisilla kenttäkokeilla Jokioisten savimaalla kolmella koepaikalla. Tutkimuksessa verrattiin syvämultausta sekä normaalisyvyiseen kyntöön että kevennettyyn muokkaukseen eli matalaan fosforin multaukseen. Syvämultausta tutkittiin myös yhdessä kylvettäessä sijoitetun starttifosforin kanssa. Syvämultauskäsitteily tehtiin aluksi tavallisella syväkyntöauralla ja myöhemmin tarkoitusta varten rakennetulla erikoisauralla. Käsitelyjen vaikutuksia maahan tutkittiin kemiallisilla analyyseillä ja kasvien ravinteiden saantia ja kasvua seurattiin oras- ja satoanalyyseillä.

2.2.1 Syvämultausaura

Ensimmäisissä fosforin syvämultauskokeissa käytettiin tavallista 20 tuuman syväkyntöauraa. Osin hyvistäkin tuloksista huolimatta todettiin heti myös syväkyntönselvät haitat niin viljelyn kuin ympäristönkin kannalta. Maan pinnan liettymis- ja eroo-

sioherkkyys kasvoivat usein selvästi. Syväkyntö ei sovellu lainkaan runsashesuisille maille, joita ovat hiesun lisäksi useimmat hienot hiedat ja hiesusavet sekä osa hieta-savista. Pintaan nostetun paksun jankko-kerroksen savespitoisuuden tulisi olla vähintään noin 50 prosenttia, jotta sen murut kestävät vettä ja pitävät maan rakenteen kuohkeana. Syväkyntö voi olla mahdollista myös hyvin karkeilla maille, joiden primäärihuokokset ovat riittävän suuria, mutta orgaanisen aineksen laimeneminen saattaa altistaa maata sekä vesi- että tuulieroosiolle. Vuoden 1993 syksyllä tehty syväkyntö oli kuitenkin kesän 1999 kuivissa oloissa selvästi hyödyllinen myös melko helposti liettyvällä Jokioisten hiesavella, kuten jäljempänä esitettävistä alustavista tuloksista selviää.

Parempaa fosforin syvämultauskäsitteilyä varten pyrittiin löytämään tai rakentamaan laite, jolla kyntökerroksen alta jankosta nostetun maan päälle saadaan yhtenäinen kerros alkuperäistä ruokamultaa. Tarkoitukseen soveltuvaa valmista laitetta markkinoilta ei löytynyt. Aluksi suunniteltiin ja kokeiltiin maan siirtämistä auran takana vaon yli suurella pyörivällä lautasella, mutta tämä vaihtoehto osoittautui teknisesti vaikeaksi. Paremmaksi ratkaisuksi havaittiin kokeissa käytetty prototyyppi, joka rakennettiin Fiskarsin 20 tuuman aurasta muotoilemalla sen siipeä ja ripustamalla auran sivulle 14 tuuman auranterä lisäsiiveksi (Kuva 2.3).

Syvämultauslaite toimii siten, että pienemmän auran maan pinnasta leikkaama ohut viilu putoaa vakoon isomman siiven ja sen nostaman viulun alle, jonka jälkeen iso viilu palautuu melkein alkuperäiselle paikalleen pienen viulun päälle. Laitteen työleveyttä voidaan säätää 35 ja 55 cm:n välillä. Kapeammalla säädöllä koko maan pinta-alalta voidaan kuoria 5–15 cm:n kerros ja sijoittaa se 30–40 cm:n syvyyteen. Kuivalla ja jäykällä savella näin syvä multaus edellytti ruokamullan kuohkeuttamista etukäteen ja järeää traktoria. Helpommin murtuvilla savimailla onnistui kerta-ajo 35 cm:n syvyyteen keskikokoisella traktorilla.



Kuva 2.3. Ruokamullan syvämultauksessa käytetty aura (kuva: Into Saarela).

Vetovoiman tarvetta voitaneen vähentää merkittävästi loiventamalla ja madaltamalla isomman auran siipeä. Tällöin myös pintamaata vakoon siirtävää osaa on muutettava, jotta se toimii matalammassa tilassa. Toinen vaihtoehto on isojen viilujen kaventaminen noin 25 cm:iin ja ruokamullan pudottaminen niiden väliin kapeiksi, korkeiksi nauhoiksi, jolloin kokeissa käytetyllä tekniikalla joskus esiintynyt kasvuston raihdallisuus tasoittuisi.

2.2.2 Koepaikat ja -käsittelyt

Fosforin syvämultauslaitetta kokeiltiin Jokioisissa kolmella savimaalla, joista Ojaisten hiesavi oli runsasfosforinen ja Ilolan hiesavi alueelle tyypillisesti fosforitilaltaan välttävä (Taulukot 1.1, 1.3 ja 1.4). Kolmas koepaikka oli Yönin jäykkä, niukkafosforinen savimaa, jonka kyntökerros oli osittain hiesusavea ja osittain aitosavea sekä jankko kauttaaltaan aitosavea. Ojaisten kokeessa syvämultauksen syvyys jäi syksyn 1996 erittäin kuivissa oloissa kuitenkin liian matalaksi ja Yöniissä syksyllä 1997 tehdyn käsittelyn tehokkuutta heikensi kasvukauden 1998 sateisuus. Yöniin loholla mullattiin ruokamultaa ja lannoitefosforia myös syksyllä 1998, jolloin olosuhteet olivat arveluttavan märät. Tässä kokeessa oli yhdeksän erilaista fosforilannoituksen yhdistelmää, jotka muodostuivat vuosina

1992–1997 annetusta ja syksyllä 1998 ennen syvämultausta levitetystä sekä keväällä kylvetäessä sijoitetusta fosforista. Kokeen päätarkoitus on tutkia usean vuoden välein tehtävän fosforin syvämultauksen ja vuotuisen starttilannoituksen yhdistämistä. Märästä olosuhteista huolimatta syvämultaus onnistui teknisesti tyydyttävästi ja vaikutti rutikuivan kasvukauden 1999 kaurasatoihin odottamattoman edullisesti, kuten jäljempänä esitettävistä alustavista tuloksista ilmenee.

Tässä julkaisussa esitellään yksityiskohdalliset tulokset Ilolan kokeesta, jossa tutkittiin muokkaussyvyyttä yhdessä kalkituksen ja fosforilannoituksen kanssa (luku 1.2). Koe perustettiin herbisideillä käsitellylle ja jyritylle kolmannen vuoden nurmelle elokuussa vuonna 1993. Muokkauskäsittelyinä olivat jyräntä/kultivointi 12 cm:n syvyyteen, normaali 22 cm:n syyskyntö ja 32 cm:n syväkyntö. Kynnöt ja kultivointi toistettiin syksyllä 1994. Syksyllä 1995 koko koe kultivoitiin 10 cm:n syvyyteen ja syksyllä 1996 se jyräntä viiden senttimetrin syvyyteen. Matalaan muokattu ja syväkynnetty alue ajettiin jyräntä myös syksyllä 1997, jolloin vuosina 1993–1994 kynnetyt koejäsenet käsiteltiin syvämultauslaitteella kahteen kertaan. Tavoitteena oli mullata ruokamultaa kaksi 6 cm:n kerrosta, ensimmäinen 30 cm:n ja toinen aina 40 cm:n syvyyteen saakka, mutta painumisen jäl-

keen kesällä 1998 lopullinen syvyys oli pienentynyt 35 senttimetriksi. Jankkoa ei noussut pintaan kahdellakaan ajolla. Aika epätasaiseksi jäänyt pelto viimeisteltiin syksyllä äestämällä.

2.3 Tulokset ja tarkastelu

Matala muokkaus aiheutti lannoitefosforin rikastumista maan pintaan, ja syväkyntö pienensi eroosiolle ja huuhtoutumiselle alttiin pintamaan liukoisen fosforin pitoisuutta. Sekä tavallinen syväkyntö että erikoisauralla tehty syvämultaus paransivat fosforin saantia ja satoja kuivina kasvukausina. Ruokamullan fosforin laimentaminen korosti kuitenkin kylvetäessä sijoitetun startifosforin merkitystä, ja sateisina kasvukausina syväkyntö heikensi hiukan kasvuakin. Tulokset osoittivat, että fosforilla rikastetun kerroksen syvyys on kasvien fosforin saannin kannalta tärkeä tekijä. Lannoitetun kerroksen suunnitelmallinen syventäminen voi olla edullista sekä maatalouden että ympäristön kannalta.

2.3.1 Maan pinnan fosforipitoisuus

Maahan lisätty liukoinen fosfori pidättyi tavallisesti hyvin lujasti ja täydellisesti kiinteään ainekseen ja liikkuu siksi erittäin vaikeasti. Sijoitetuista lannoiterakeista sitä siirtyi kesän aikana vain runsaan senttimetrin päähän (Saarela & Saarela 1999). Nurmen pinnalle superfosfaattina levitetty fosforiannos 200 kg P/ha pidättyi aitosavella melkein kokonaan ylimpään 2,5 cm:n kerrokseen sekä hiedassa ja multamassa 5 cm:n kerrokseen (Saarela et al. 1988). Tätä syvempää lannoitefosforia löytyi kolmen vuoden kuluttua vain heikosti fosforia pidättävästä turpeesta. Viljavuudeltaan keskinertaisissa kivennäismaissa lannoitefosforia siirtyy merkittäviä määriä kyntökerroksen alaosaan ainoastaan mekaanisesti eli riittävän syvällä muokkauksella. Matala muokkaus aiheuttaa kyntökerroksen alaosan vähittäistä köyhtymistä ja fosforin rikastumista pintaan (Pitkänen 1988). Syväkyntöllä

ruokamullan fosfori laimenee suurempaan maatilavuuteen, jolloin sen pitoisuus maan pinnassa pienenee.

Maan fosforipitoisuuden ollessa tavallista korkeampi kuten Jokioisten Ojaisten kentällä, selvää kerrostumista ruokamullan eri kerrosten välillä ei ole aina todettu, vaikka mm. jankon pienet liukoisen fosforin pitoisuudet osoittavat fosforin liikkuneen veden mukana hyvin vaikeasti (Tiiri 1991). Vuosittain sijoitettu fosfori, 42 kg/ha, on kuitenkin tässäkin kokeessa todennäköisesti kertynyt matalaan muokatun maan pinta-kerrokseen. Voimistamalla sijoituskerroksen happamuutta puolen pH-yksikön verran runsaasti ammoniumtyyppiä sisältänyt lannoite on todennäköisesti heikentänyt fosforin liukoisuutta erityisesti rikastuneessa kerroksessa. Vain kahteen osanäytteeseen ruutua kohti perustuvat viljavuusanalyysit jättävät tuloksiin myös arveluttavan suuret virhemarginaalit varmojen päätösten tekemiseen. Sijoituslannoitetulta pellolta tulisi ottaa edustavia fosforianalyysijä varten jopa 50–60 osanäytettä (Brown 1999). Vuodesta 1993 saakka jyrsimellä matalaan muokatussa Ojaisten fosforilannoitus-kalituskokeessa maan pH-luku oli laskenut lannoitteen sijoitusyvyvydessä syksyllä 1998 muutamalla kymmenyksellä (Taulukko 1.4). Kerrosten väliset erot ovat myös tilastollisesti merkitseviä, vaikka koekäsittelyjen vaikutuksissa oli hajontaa.

Iolan kokeesta otettiin syksyllä 1995 maanäytteet pinnasta muokkausyvyvyyteen ja syksyllä 1997 pinnasta kymmenen senttimetrin syvyyteen. Osanäytteitä kairattiin tasaisesti ruudun eri puolilta 6–10 kohdasta Matalimpaan 12 senttimetrin syysmuokkaukseen verrattuna 32 cm:n syväkyntö pienensi liukoisen fosforin pitoisuutta fosforilla lannoitetuilla ruuduilla suunnilleen puolella (Taulukko 2.2). Ilman fosforilannoitusta viljeltäessä ero oli pienempi, mutta kuitenkin selvä. Keskimäinen muokkausyvyys eli tavallinen 22 senttimetrin kyntö sijoittui fosforilannoitetuilla ruuduilla edellisten puoliväliin. Lannoittamattomassa verranteessa kyntö piti liukoisen fosforin pitoisuuden suurempana kuin matala syys-

Taulukko 2.2. Vuosien 1993–1994 syysmuokkauksen syvyyden sekä syksyllä 1993 levitetyn superfosfaatin (200 kg P/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin vaikutus Jokioisten Iolan hiusesaven viljavuuteen syksyllä 1995 ja 1997. Fosforilannoituksen vasen luku tarkoittaa superfosfaatilannoitusta v. 1993 ja oikea luku NPK-lannoitteen sijoitusta v. 1993–1997. Syksyllä 1995 näytteet otettiin pinnasta muokkaussyvyyteen, syksyllä 1997 pinnasta 10 senttimetrin syvyyteen. Tilastollinen merkitsevyys kuten Taulukossa 1.7.

Vuosi, muok- kaussyv., cm	Liukoinen fosfori (mg/l) P-lannoituksella				pH (vesi)	Johto- luku	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	
	0	23/v	200–93	200+23						
1995	12	3,4	5,1	9,2	10,8	6,36	0,89	2583	300	208
	22	3,7	4,5	5,5	7,6	6,32	1,01	2385	328	190
	32	2,7	2,9	4,3	5,0	6,43	1,00	2662	386	193
	Merk.	P-lann. *** Muokkaus ** P x muokk **				–	–	**	–	–
1997	12	4,3	7,2	9,6	13,1	6,43	0,49	2491	397	253
	22	4,5	5,3	5,3	6,9	6,37	0,45	2289	474	221
	32	3,4	5,2	4,9	7,0	6,42	0,49	2472	468	244
	Merk.	P-lann. *** Muokkaus *** P x muokk ***				–	–	–	**	–

muokkaus. Tulos viittaa siihen, että kasvit ottavat fosforia ja köyhdyttävät maata eniten melko läheltä pintaa.

Syksyllä 1997 pinnasta 10 senttimetrin syvyyteen otettujen näytteiden fosforipitoisuudet olivat jopa ilman fosforilannoitusta viljellyllä alalla hiukan suurempia kuin pari vuotta aikaisemmat (Taulukko 2.2). Ero on niin pieni, ettei se täysin varmasti merkitse viljavuuden todellista paranemista tai ohuen pintakerroksen korkeampaa liukoisin fosforin pitoisuutta, mutta viittaa ainakin toisen tekijän vaikutukseen. Maa-han muokatuissa oljissa palautuu peltoon fosforia keskimäärin noin 5 kg/ha (Jaakkola et al. 1982 ja 1997). Ohueen pintakerrokseen mullatut kasvinjätteet ovat saattaneet edistää myös fosforin liukenemistä voimistamalla maan mikrobiologista aktiivisuutta. Tällainen vaikutus ilmeni käänteisenä mm. Tiirin (1991) tutkimuksessa, jossa savimaan helppoliukoisin fosforin pitoisuus pieneni monivuotisessa muokatussa kessanossa, kun peltoon ei tullut mitään eloperäistä ainetta. Pitkäsén (1988) tutkimuksessa olkien palauttaminen suurensi matalaan muokatun maan pinnan liukoisin fosforin pitoisuutta selvästi jo kuudessa vuodessa.

Iolan kokeessa maan pintakerroksen fosforipitoisuus näytti nousevan kytämättä viljeltäessä myös jyväsadoissa poistuneen

fosforin korvaavalla lannoituksella eli pelon fosforitaseen ollessa nolla. Monivuotisissa lannoituskokeissa pienet liukoisin fosforin alkupitoisuudet eivät laskeneet sadossa poistuneen fosforin korvaavalla lannoituksella, kuten tapahtui alkupitoisuuden ollessa korkea (Saarela 1989b, Saarela et al. 1995). Maan fosforifraktioiden hidas keskinäinen tasapainottuminen näyttää aiheuttaneen Iolan savessa muokkauksella laimennettujen fosforipitoisuuksien vähittäistä palautumista lähemmäksi lähtötasoa.

Syväkynnön vaikutus tavalliseen kynnöön verrattuna pieneni näytteenottokertojen välillä erityisesti vuosittain fosforilannoitetuilla ruuduilla, mutta myös lannoitamattomilla ja pelkästään peruslannoitetuilla aloilla, joilla tulos selittyy erilaisella näytesyvytydellä. Maa käännettiin superfosfaatin levityksen jälkeen vain kertaalleen, ja myös normaali kyntö näyttää siirtäneen suurimman osan lisätystä fosforista jälkimmäistä näytekerrasta syvemmälle. Kasvit ottavat fosforia epäilemättä eniten sieltä, mistä sitä helpoimmin saa, ja syvä muokkaus voi siten vähentää fosforin ottoa läheltä maan pintaa. Tämä vaikutus ei tässä kokeessa kuitenkaan selittäne kehitystä, koska koe oli liian lyhytaikainen näin haitaiden muutosten ilmenemiseen.

Syksyn 1995 analyysien mukaan maan pinnan liukoisin fosforin pitoisuutta voi-

Taulukko 2.3. Vuosien 1993–1994 syysmuokkauksen syvyyden (cm, 12 = jyrintä, 22 = kyntö ja 32 syväkyntö, kynnetyllä 35 cm:n syvämultaus syksyllä 1997) sekä syksyllä 1993 levitetyn superfosfaatin (200 kg P/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin vaikutus oraiden kasvuun ja fosforin saantiin Ilolan huihesavella. Oraiden paino tarkoittaa 15–20 kuivan kasvin keskipainoa, oraiden P niiden kuiva-aineen fosforipitoisuutta. Fosforin otto on laskettu kasvien painon ja fosforipitoisuuden sekä kasvuston tiheyden mukaan. x = fosforilannoitus- ja kalkituskäsittelyjen keskiarvot. Tilastollinen merkitsevyyden kuten Taulukossa 1.7.

Vuosi	Kasvi		P-lann. (kg/ha)		Oraiden paino, mg				Oraiden P, g/kg				P:n otto, kg/ha			
	Testi	Tekijä	1993	Koev:na	12	22/35	32	x	12	22/35	32	x	12	22/35	32	x
1997	Kevätvehnä		0	0	48	43	51	47	2,71	2,48	2,49	2,56	0,66	0,54	0,63	0,61
		Mahti	0	17	52	49	53	51	2,92	2,72	2,91	2,85	0,75	0,65	0,80	0,73
			200	0	52	46	54	51	3,38	2,62	2,71	2,90	0,88	0,62	0,73	0,74
			200	17	51	53	55	53	3,64	2,90	3,09	3,21	0,93	0,76	0,88	0,85
				x	51	48	53	51	3,16	2,68	2,80	2,88	0,81	0,64	0,75	0,73
	F	Fosforilannoitus			***				***				***			
	Muokkaussyvyys			*				**				**				
	P-lann. * m.syvyys			em				em				em				
1998	Ohra		0	0	93	84	88	88	3,01	2,74	3,07	2,94	1,11	0,93	1,08	1,04
		Saana	0	15	103	97	116	105	3,73	3,51	3,73	3,66	1,54	1,37	1,72	1,54
			200	0	112	98	104	105	3,48	3,09	3,28	3,29	1,57	1,22	1,36	1,38
			200	15	116	106	115	112	3,99	3,72	3,87	3,86	1,85	1,58	1,78	1,74
				x	106	96	106	103	3,55	3,27	3,49	3,44	1,52	1,27	1,48	1,42
	F	Fosforilannoitus			***				***				***			
	Muokkaussyvyys			em				*				*				
	P-lann. * m.syvyys			*				em				*				

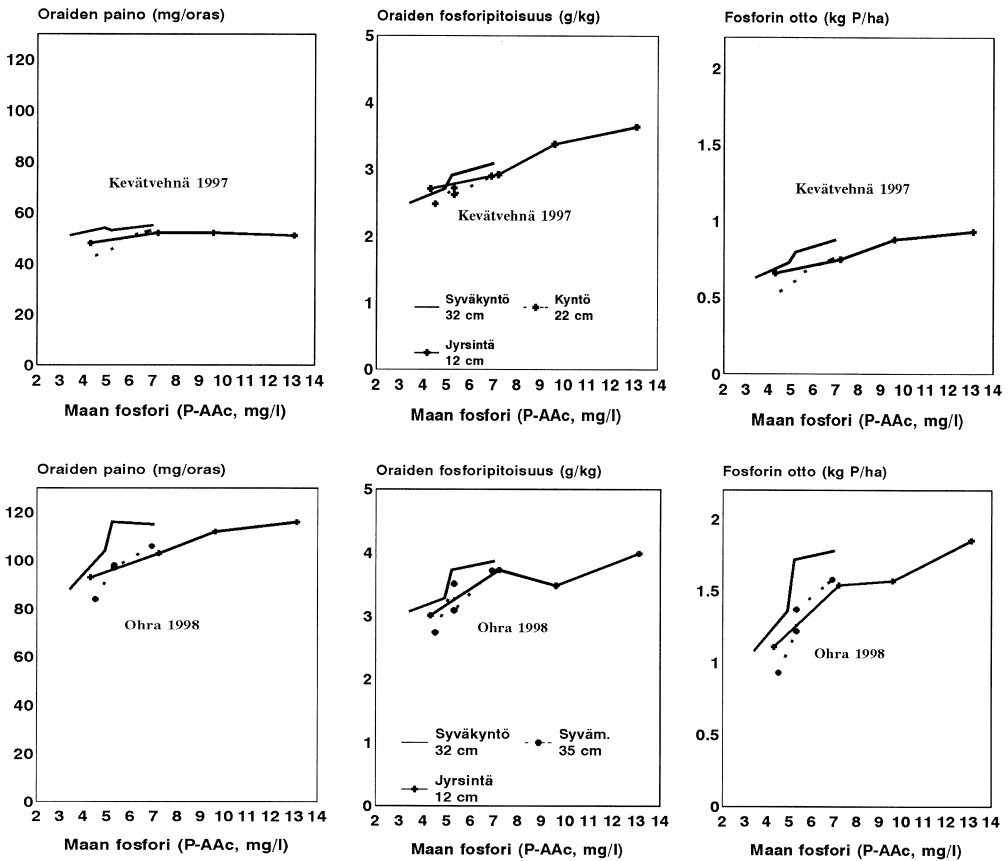
daan pienentää tehokkaasti syvällä muokkauksella, mutta kaksi vuotta myöhemmin saatu tulos ei ollut yhtä selkeä. Erilaisten käsittelyjen vaikutusten luotettavaa ennustamista varten tutkimusta tulisi jatkaa. Muista ravinteista vaihtuvan magnesiumin pitoisuus oli pienentynyt matalaan muokatussa pinnassa (Taulukot 1.1 ja 2.2). Tämän suhteellisen helposti savimaissakin liikkuvan kationin kerrostuminen alkoi todennäköisesti jo koetta edeltäneessä monivuotisessa nurmessa.

2.3.2 Oraiden kasvu ja fosforin saanti

Vuoden 1997 kevätvehnän ja vuoden 1998 ohran oraiden kasvu ja fosforin saanti (tutkimusmenetelmät selostettu luvussa 1.3.2) esitetään fosforilannoituksen ja muokkaussyvyyden mukaan taulukossa 2.3, ja kuvassa 2.4 lisäksi maan pinnan liukoisen fosforin pitoisuuden mukaan. Kuvan murtoviivojen yhdistämät fosforilannoitukset

nähdään taulukosta 2.3 ja maan fosforipitoisuudet taulukosta 2.2. On syytä huomata, että syväkynnetyssä maassa pelkän peruslannoituksen tuloksia osoittaa kuvien 2.4 ja 2.5 murtoviivojen toinen piste vasemmalla ja pelkkää vuotuislannoitusta kolmas, mutta muilla muokkaustavoilla näiden lannoitusten järjestys on päinvastainen. Ilman fosforilannoitusta ollut käsittely on luonnollisesti murtoviivojen päässä vasemmalla, ja sekä perus- että vuotuislannoituksen saanut on oikealla.

Vehnän oraiden kasvuun vuonna 1997 käsittelyt vaikuttivat melko vähän, mutta kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi, ja lähes kolme vuotta aikaisemmin tehty syväkyntö oli edullisempi kuin samaan aikaan tehty normaali kyntö ja jokseenkin tasaveroinen jatkuvan matalan muokkauksen kanssa. Kesäkuun alussa kuivuus häytti jonkin verran oraiden kasvua, kunnes viikkoa ennen juhannusta alkoivat runsaat saateet. Kolmantena vuonna syväkynnön jäl-



Kuva 2.4. Vuosien 1993–1994 syysmuokkauksen syvyyden sekä syksyn 1997 syvämultauksen vaikutus oraiden kasvuun ja fosforin saantiin verrattuna maanpinnan liukoisin fosforin pitoisuuteen.

keen maan pintarakenne oli jo parempi kuin parina edellisenä vuonna, ja jäykemmän saven sekoittaminen hiesuisempaan ruokamultaan mahdollisesti hidasti sen kuivumista, mutta 22–32 cm:n syvyyteen mullatun ruokamullan ja fosforin vaikutukset olivat näin aikaisessa orasvaiheessa ilmeisesti melko vähäisiä. Fosforilannoitus suurensi vehnän oraiden fosforipitoisuutta selvemmin kuin niiden kuivapainoa.

Ohran oraiden kasvuun vuosien 1993–1994 muokkaustapa ja edellisenä syksynä tehty ruokamullan syvämultaus eivät vaikuttaneet vuonna 1998 merkittävästi, mutta maan liukoisin fosforin pitoisuuteen verrattuna useita vuosia aikaisemmin tehty syväkyntö oli edullinen (Kuva 2.4). Syvämullatulla maalla kylvöalusta oli hienomu-

ruisempi ja ohra orastui sillä tasaisemmin kuin kevyesti muokatulla, mutta myöhemmin kasvu oli silmin nähden parempaa jälkimmäisellä. Matalan muokkauksen edullisuus orasvaiheessa johtui ilmeisesti pääasiassa siitä, että maan pinnalle tai ohueen pintakerrokseen jääneet vehnän olkisilppu ja sänki hidastivat maan kuivumista sekä ennen kylvöä että sen jälkeen, jolloin Jokioisissa oli kuiva jakso myös sadekesänä vuonna 1998. Vuonna 1989 matala muokaus hidasti Jokioisten savimaan kuivumista tavalliseen kyntöön verrattuna lähes viikolla (Tiiri 1991). Sadetuskokeiden mukaan (Elonen & Kara 1972) tämä ero vastaa suunnilleen yhtä 30 mm:n sadetusta.

Syksyllä 1993 levitetyn superfosfaatin multaaminen syvälle maahan huononsi sel-

Taulukko 2.4. Vuosien 1993–1994 syysmuokkauksen syvyyden (cm; 12 = jyrä, 22 = kyntö ja 32 cm syväkyntö, kynnetyllä 35 cm:n syvämultaus syksyllä 1997) vaikutus vilja- ja rypsisatojen määrään, ulkoiseen laatuun ja kuiva-aineen ravinnepitoisuuteen sekä fosforin ja typen ottoon Jokioisten Iolan hiesavikokeessa. (# = rypsiällä hehtolitrapainon paikalla öljypitoisuus, %). □ = rypsin sato on mukana keskiarvoissa hehtaarisadoissa kahdella kerrottuna ja fosforipitoisuuksissa kahdella jaettuna. F = muokkausyvyyden vaikutuksen todennäköisyys varianssianalyysin mukaan: em = alle 95 %, * = 95–99 %, ** = 99–99,9 %, *** = yli 99,9 %, – = ei testattu.

Vuosi	Kasvi(t)	Syysmuokkaus, cm				Syysmuokkaus, cm				Syysmuokkaus, cm			
		12	22/35	32	F	12	22/35	32	F	12	22/35	32	F
		Vilja/rypsisato, kg/ha				Hehtolitrapaino, kg/ha#				1000 jyvän paino, g			
1994	Syysvehnä + Ohra	3856	2980	4010	*	69,0	73,0	73,4	em	34,4	31,9	34,5	*
1995	Kevätvehnä	4780	5090	4710	**	82,3	82,1	82,5	em	39,1	39,8	39,6	**
1996	Kevätrypsi#	1850	1830	1900	em	(47,8	46,7	48,0)	em	2,58	2,61	2,58	em
1997	Kevätvehnä	4630	4430	4710	em	76,0	75,7	76,1	em	32,6	32,4	32,5	em
1998	Ohra	4400	4490	4250	*	63,0	62,7	63,0	em	41,9	41,7	41,5	em
	Keskimäärin□	4270	4120	4300	em	72,6	73,5	73,8	em	36,7	36,1	36,9	**
		Fosforipitoisuus, g/kg				Typpipitoisuus, g/kg				Mangaanipit., mg/kg			
1994	Syysvehnä + Ohra	4,13	4,02	3,98	*	24,7	26,7	25,2	*	–	–	–	
1995	Kevätvehnä	3,88	3,99	4,08	***	24,7	25,5	24,6	em	28,7	26,7	29,3	*
1996	Kevätrypsi	8,78	8,78	8,85	–	31,0	32,1	30,8	em	26,8	26,2	27,9	–
1997	Kevätvehnä	4,31	4,41	4,47	–	21,6	21,9	21,2	em	45,0	42,2	40,8	–
1998	Ohra	3,44	3,46	3,38	–	16,1	16,6	16,1	em	12,9	12,4	12,9	–
	Keskimäärin□	4,01	4,04	4,05	–	21,6	22,5	21,6	em	28,1	26,4	27,3	–
		Fosforin otto, kg/ha				Typen otto, kg/ha				Sinkkipit. mg/kg			
1994	Syysvehnä + Ohra	13,5	10,2	13,6	*	80	67	86	*	–	–	–	
1995	Kevätvehnä	15,8	17,3	16,3	**	100	111	99	**	34,0	37,4	36,2	*
1996	Kevätrypsi	14,8	14,7	15,3	em	52	53	53	em	30,3	30,5	30,9	–
1997	Kevätvehnä	16,9	16,6	17,9	em	85	82	85	em	34,0	35,4	35,0	–
1998	Ohra	12,9	13,2	12,2	*	61	64	59	*	22,2	23,3	21,8	–
	Keskimäärin□	14,8	14,4	15,1	em	75,6	75,2	76,2	em	29,8	31,3	30,6	–

västi sen tehokkuutta orasvaiheessa ja lisäksi vastaavasti vuotuisen sijoituslannoituksen merkitystä sekä vehnällä että ohralla (Taulukko 2.3). Tätä vaikutusta korosti todennäköisesti se, että peruslannoituksen jälkeen vain kertaalleen tehty syväkyntö hautasi pääosan lisäystä fosforista muokatun kerroksen alaosaan. Maan pinnan liukoisen fosforin pitoisuuteen verrattuna syväkyntö paransi kuitenkin sekä oraiden kasvua että niiden fosforin saantia myös peruslannoitetulla maalla (Kuva 2.4). Syväkynnetyissä maassa paras kasvu saavutettiin maan pinnan liukoisen fosforin pitoisuuden ollessa 5 mg/l, kun matalaan muokatussa maassa tarvittiin noin kaksinkertainen fosforipitoisuus.

2.3.3 Sadon määrä ja laatu

Kaikki syvämultauskokeen viljasadot olivat täysin pystyjä, ja rypsisäkin oli vain löysää lakoa. Vuosien 1993–1994 syysmuokkauksen syvyyden ja syksyn 1997 syvämultauksen vaikutukset vilja- ja rypsisatoihin ja niiden ulkoiseen laatuun eri fosforilannoituksilla on esitetty liitteessä 2.1 sekä muokkaus käsittelyjen päävaikutukset ja niiden merkitsevyydet taulukossa 2.4. Ensimmäisenä koevuonna syväkyntö suurensi syysvehnä-ohra-sekakasvuston jyväsatoa normaalilla kynnyllä saatuun verrattuna. Vuoden kevät 1994 oli sademääriltään normaali mutta heinäkuu oli Jokioisissa aivan sateeton (Kuva 2.6 s. 45), tiiviiksi liettyneestä hiesusavesta haihtui vettä niin pal-

jon (Tiiri 1991), että syysvehnä kärsi silmin nähtynä kuivuudesta etenkin tähkimisvaiheessa. Kynnön syventäminen 32 cm:iin oli tällöin selvästi hyödyllistä niin kasvuston ulkonäön kuin sen suuremman korkeudenkin perusteella, joka suureni 79 cm:stä 89 cm:iin, ja ero oli tilastollisesti merkitsevä. Jyrityssä nurmessa syysvehnä talvehti niin huonosti, että vain 35 prosenttia kasveista säilyi elossa. Kynnettyssä ja syväkynnettyssä pellossa talvehtiminen ei ollut suuren hajonnan takia merkitsevästi parempi, vaikka 60–62 prosenttia kasveista oli siinä kevällä elossa. Jyrityksellä rikotun nurmen jälkeen sato oli selvästi ohravaltaisempaa (60 %) kuin eri syvyyteen kynnettyjen, jotka olivat keskenään tasavertaisia (27–30 %). Sekaviljasadon ulkoinen laatu oli hyvin vaihtelevaa, eivätkä suurelta näennäiset erot olleet aina tilastollisesti merkitseviä (Taulukko 2.4). Maan kuivumista nopeuttanut normaalisyyvyinen kyntö tuotti kuitenkin selvästi pienijyväisempää viljaa kuin matala ja syvä syysmuokkaus.

Vuonna 1995 kevävehnä kasvoi riittävän kosteuden ansiosta yleensä hyvin, mutta painanteisiin ajoittain kertyneen liikaveden takia kasvusto oli epätasainen. Suurten, 14 metrin levyisten ja 63 metrin pituisten muokkausruutujen väliset satoerot olivat kuitenkin niin säännöllisiä, että muokkaus-syvyyden vaikutus satoon oli tilastollisesti hyvin merkitsevä. Päinvastoin kuin edellisenä vuonna, paras sato saatiin normaalilla kynnöllä. Savimaan pinta liettyi märissä oloissa syväkynnön jälkeen pahemmin kuin normaalista kynnetyssä. Syksystä 1989 saakka jatkuvasti matalaan muokattu maa oli todennäköisesti muita tiiviimpi äestetyin kerroksen alta ja siten alttiimpi liikamärkyydelle. Syvä syysmuokkaus suurensi kevävehnän jyvien painoa ja fosforipitoisuutta jopa erittäin merkitsevästi (Taulukko 2.4). Siitä voitaneen päätellä, että edellisen syksyn syvät muokkaukset tehostivat juurten toimintaa ja ravinteiden ottoa erityisesti sateisen kasvukauden lopussa.

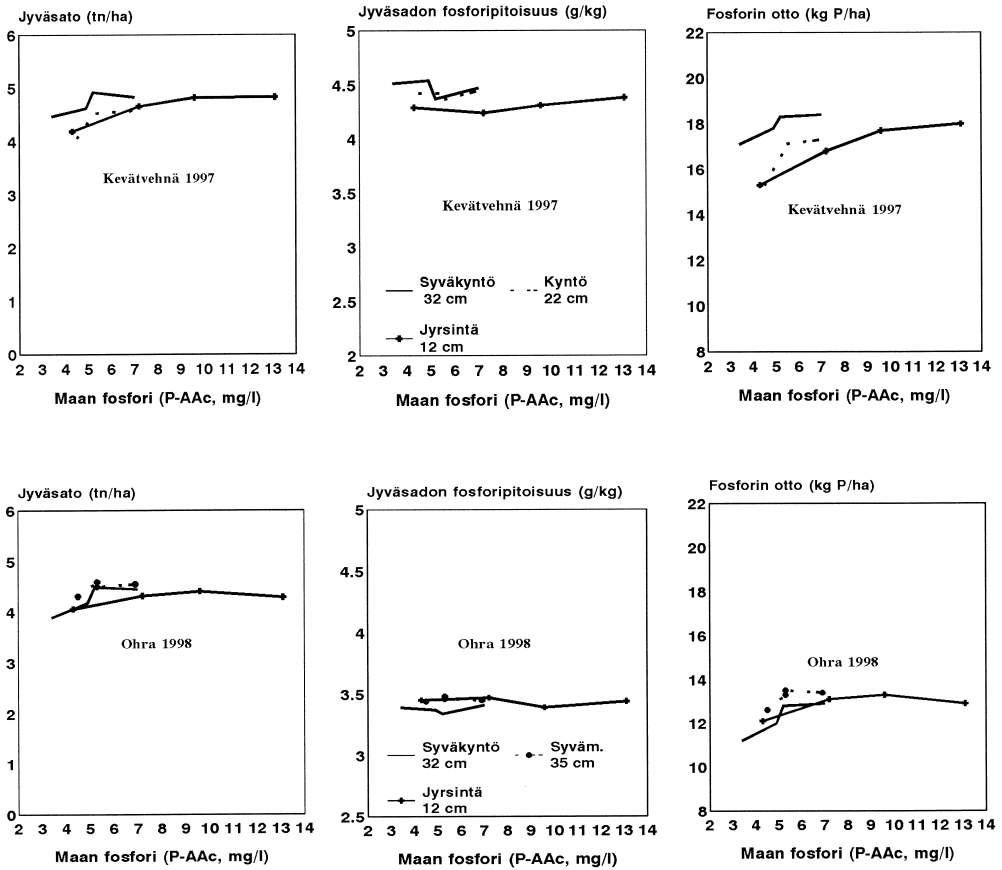
Kevätrypillä vuonna 1996 kaikki muokauskäsittelyt olivat tilastollisen testin mukaan yhtä hyviä. Muokkaus-syvyyden ei vai-

kuttanut merkitsevästi myöskään kevävehnällä vuonna 1997. Vuoden 1998 ohrasatoa syksyllä 1993 ja 1994 tehty syväkyntö sen sijaan pienensi merkitsevästi, samalla tavalla kuin edellisenä sadekesänä kolme vuotta aikaisemmin. Vaikka muokkauksen ja fosforilannoituksen yhdysvaikutus ei ollut merkitsevä ($P = 0,14$), syväkynnön haitat näyttivät poistuvan, kun fosforia sijoitettiin kylvetäessä maahan (Liite 2.1). Maan pinnan fosforipitoisuuteen nähden syväkyntö tuotti suurempia satoja kuin matala syysmuokkaus (Kuva 2.5). Se pienensi täyteen satoon riittävää maan helpoliukoisen fosforin pitoisuutta noin puolella, samalla tavalla kuin edellä oraiden kasvun mukaan.

2.3.4 Sadon fosfori ja typpi

Muokkaus-käsittelyjen vaikutukset sadon fosfori- ja typpipitoisuuteen ja -määrään erilaisia fosforilannoituksia käytettäessä on esitetty liitteissä 2.2 ja 2.3 sekä muokkauksen päävaikutukset merkitsevyyksineen taulukossa 2.4. Vuonna 1994 kevennetyn muokkauksen tuottaman ohravaltaisen sadon fosforipitoisuus oli suurempi mutta typpipitoisuus pienempi kuin syyskynnöllä tuotetun viljan. Vuonna 1995 kevävehnän fosforipitoisuus suureni erittäin merkitsevästi edellisen syksyn muokkauksen syventyessä. Kyntö suurensi vehnän fosforipitoisuutta 0,11 g/kg eli 2,8 prosenttia ja syväkyntö 0,20 g/kg eli 5,2 prosenttia. Fosforin ja typen otto olivat pienimpiä normaalilla kynnöllä kuten satokin. Vuoden 1996 kevätrypillä ja vuoden 1997 kevävehnällä muokkaus ei vaikuttanut näiden ravinteiden pitoisuuksiin eikä ottoon. Pitoisuudet eivät riippuneet muokauskäsittelyistä myöskään ohralla vuonna 1998, jolloin jyväsadon sisältämät fosfori- ja typpimäärät olivat sadon tapaan pienimpiä neljän vuoden takaisella syväkynnöllä.

Maan liukoisen fosforin pitoisuuteen verrattuna vuoden 1997 kevävehnän jyväsadon fosforipitoisuus ja fosforin otto olivat syksyllä 1993 ja 1994 syvään kynnettyllä savimaalla selvästi suurempia kuin



Kuva 2.5. Vuosien 1993–1994 syysmuokkauksen syvyyden sekä syksyn 1997 syvämultauksen vaikutus viljasatoon ja sen fosforisisältöön verrattuna maan pinnan liukoisin fosforin pitoisuuteen.

matalammilla muokkauksilla (Kuva 2.5). Syväälle maahan mullattu ruokamulta ja syksyn 1993 fosforilannoitus ovat parantaneet fosforin saantia ennätyskellisen lämpimän kasvukauden aikana tehokkaasti, vaikka kesä- ja heinäkuun sademäärät olivat keskimääräisiä selvästi suurempia (Kuva 2.6). Sadekesänä vuonna 1998 syväälle maahan sijoitettu fosfori ei ollut erityisen hyvin ohran saatavilla, mikä maan pinnan pysyessä jatkuvasti märkänä oli odotettu tulos. Ohrasadon sisältämän fosforimäärän mukaan yhdeksättä vuotta kyntämättä viljelty savi oli muutenkin hiukan viljavampaa kuin syväkyntöä jälkeen neljättä vuotta kyntämättä viljelty. Kuvassa 2.5 näkyvä vuoden 1997 kevätvehnäsadon fosforipitoisuuden pieneneminen sijoitettaessa fosfo-

ria kylvössä 17 kg/ha ei ollut merkitsevä, mutta tällainen vaikutus on kuitenkin hyvin tyypillinen fosforitilaltaan heikoilla ja keskinkertaisilla mailla (Saarela et al. 1995).

2.3.5 Kalkituksen ja muokkauksen syvyyden yhdysvaikutukset

Kalkituksella ja muokkauksella ei todettu tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia. Tämä johtui osittain koeteknisistä syistä, sillä muokkaus- ja kalkituskäsittelyjen yhdistelmät, joita oli yhdeksän, oli sijoitettu kolmen lohkon pää- ja osaruutuihin, muokkaukset 9 pääruutuun ja kalkitukset 27 osaruutuun, joiden mitat olivat 14 kertaa 18 metriä. Leveiden ruutujen välisiä eroja suurensi jonkin verran koepaikan maan sa-

vespitoisuuden ja siitä riippuvien ominaisuuksien vaihtelu, vaikka alue olikin melko tasaista, loivasti viettävää peltoa. Eri tavoin muokatut ja kalkitut 27 ruutua jakaantuivat neljään fosforilannoitukseen kaikkiaan 108 osa-osaruudussa. Liitteessä 2.4 esitetään sadot ja niiden fosforipitoisuudet ja -määrät vuoden 1997 kevätvehnästä ja koko koejaksolta kaikkien kolmen tekijän mukaan taulukoituina.

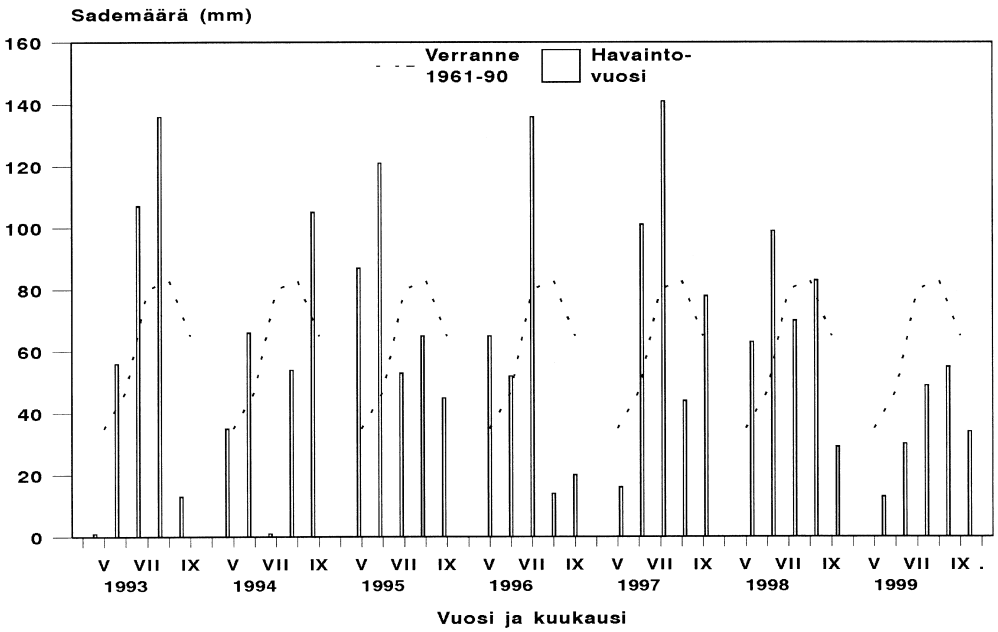
Kuten liitteen 2.4 otsikkoriviltä näkyy, käytetyt kalkkimäärät kasvavat muokkaus-syvyyden mukaan. Kolmen kalkituskäsittelyn keskimääräinen kokeen alussa levitetty kalkkiannos oli matalalla muokkauksella 7 t/ha, normaalilla kynnyllä 11,3 t/ha ja syväkynnyllä 17 t/ha. Kalkituksen vaikutus satoon ja fosforin ottoon oli kuitenkin (epävarman trendin mukaan) normaalilla kynnyllä jopa suurempi kuin syväkynnyllä, jolla kalkkimäärä oli puolta suurempi. Matalalla multauksella sama vaikutus saatiin aikaan yli puolta pienemmällä kalkkiannoksilla kuin syväkynnyllä. Kovin varmoihin päätelmiin ei ole perusteita, mutta tulokset viittaavat siihen, että kalkki vaikuttaa savimaalla kasvuun ja satoon tehokkaimmin melko matalaan pintakerrokseen mullattuna. Tätä käsitystä tukevat myös havainnot oraiden fosforin saannin ja kasvun paranemista kalkituksella (Taulukko 1.5, Kuva 1.1). Näyttää siis siltä, että jatkuvaan matalaan muokkaukseen siirtäessä tavallista runsaammat kalkkimäärät kannattaa levittää vasta viimeisen kynnön jälkeen, ja että yhdistettäessä runsas kalkitus ruokamullan syvämultaukseen ainakin pääosa kalkista kannattaa levittää syvämultauksikäsitteilyn jälkeen. Matalaan mullattu kalkki huuhtoutuu vähitellen syvemmälle, mutta ruokamullan alaosa voi pysyä sen yläosaa selvästi happamampana ainakin 12–20 vuotta.

2.3.6 Syvämultauksen vaikutus satoon kuivana kasvukautena 1999

Ilolan kokeessa kasvoi vuonna 1999 nurminata-timoteinurmi, jonka satoon kaikki kolme koetekijää vaikuttivat melko vä-

hän, joskin sekä syvämultaus että kalkitus paransivat kasvua joissakin niitoissa tilastollisesti merkittävästi. Ojaisten hiuesavimaalla (Taulukot 1.1 ja 1.4) syksyllä 1993 tehty syväkyntö, joka aikaisemmin oli lievästi haitallinen erityisesti sateisina kasvukausina, sen sijaan paransi Inari-ohran kasvua ja satoa erittäin selvästi (Kuva 2.7b). Syväkyntökaista sijaitsee muiden käsittelyjen välissä tilastollisesti yhtenä yksikkönä, mutta mm. eri käsittelyjen rajojen näkymien kasvustossa osoitti satoerojen johtuneen ainakin osittain syksyn 1993 kyntösyvyydestä. Vuosien 1997–1998 syysmuokkauksissa oli kolme toistoa, ja niiden vaikutus satoon oli hyvin merkitsevä ($P = 0,0038$), ja myös syksyn 1993 kyntösyvyyden sekä vuosien 1997–1998 syysmuokkauksen yhdysvaikutus oli merkitsevä ($P = 0,031$). Tämä on tulkittavissa siten, että kuuden vuoden takainen syväkyntö oli edullinen nimenomaan syksyllä 1997 ja 1998 tavalliseen tapaan kynnetyllä maalla, jossa sen hyöty ohrasatona oli 1200 kg/ha. Syksyllä kynnetyt kaistat tasausäestettiin 6. toukokuuta, koko koe äestettiin 19. toukokuuta ja ohra kylvettiin 20. toukokuuta.

Koko kasvukauden jatkunutta kuivuutta (Kuva 2.6) lievitti tehokkaimmin edellisten syksyjen matala, vain kylvösyvyyteen ulottunut syysmuokkaus (Kuva 2.7b). Tällä käsittelyllä satoa saattoi rajoittaa enemmän lannoituksen niukkuus kuin veden puute, sillä käytetty typpimäärä, 100 kg N/ha, on viiden tonnin satotasolla pienehkö. Syksyllä 1997 syvämultauslaitteella noin 32 cm:iin kuohkeutettu ja syksyllä 1998 normaaliin syvyyteen kynnety maa, jossa oli kasvinjätteitä syvemmällä kahdessa kerroksessa mutta ei pinnalla katteena, ei näyttänyt olevan kuivissa oloissa edullinen. Syksyllä 1993 syvään ja normaalisti kynnetyillä ja syksyllä 1997–1998 matalaan muokatuilla kaistoilla Ojaisten kokeessa kasvoi myös kevätvehnää, joka ei hyötynyt syvennetyistä ruokamullasta eikä matalasta syysmuokkauksesta samalla tavalla kuin ohra. Yhtenä syynä oli vehnän esikasvina ollut kitukasvuinen kevättrypsi (Taulukko 1.8), josta ei jäänyt maan pintaan yhtä hyvää ka-



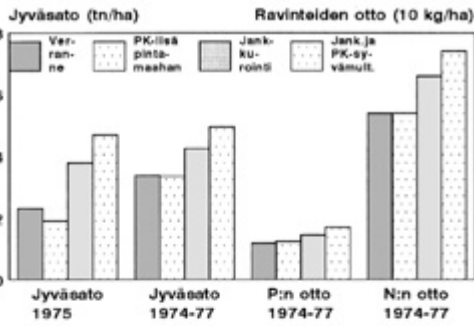
Kuva 2.6. Kesäkuukausien 1993–1999 sademäärät Jokioisten observatoriossa verrattuna vuosien 1961–1990 keskiarvoihin.

tetta kuin ohran esikasvina olleesta hyväkasvuudesta kevätvehnästä. Rypsin jälkeen kevyesti muokatun maan pinta oli keväällä kovempaa ja vaikeammin muokkautuvaa kuin vehnän jälkeen. Vehnäkoetta äestettiin ilman esitasauksella 11. toukokuuta ja kylvettiin 12. toukokuuta.

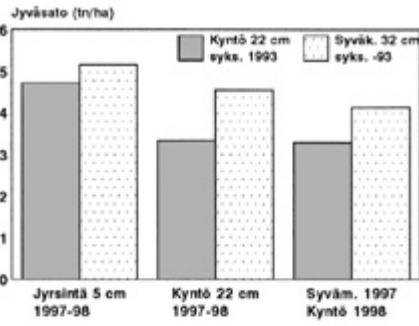
Kesän 1999 kuivissa oloissa matalaan muokatulla savimaalla kriittisin vaihe näytti olevan oraiden juurten kasvu siementen alla olevan muokkaamattoman, kovan kerroksen läpi. Samankaltaisia oraiden juurtumisvaikeuksia todettiin kevätvehnällä myös edellisenä hyvin kuivana keväänä vuonna 1993 (Saarela 1994). Tällöin matalaan muokatulla niukkafosforisella Jokioisten savella oraiden fosforin saanti vaikutti satoon hyvin voimakkaasti, sillä oraiden heikkoa juurtumista ja puutteellista fosforin saantia voitiin korvata runsaalla fosforilannoituksella. Keväällä 1999 kahdeksan päivää ohraa aikaisemmin kylvetty vehnä, jonka siemenkin vaikutti heikolta, jäi oraiden huonon juurtumisen ja kuivuuden takia harvaksi. Juurten syvyyskasvu näytti välillä hyvin vaikealta myös ohralla, mutta sen

kannalta hyvään aikaan sattuneet vähäiset kylvönjälkeiset sateet helpottivat oraiden juurtumista ja tekivät olosuhteisiin nähden runsaan sadon mahdolliseksi.

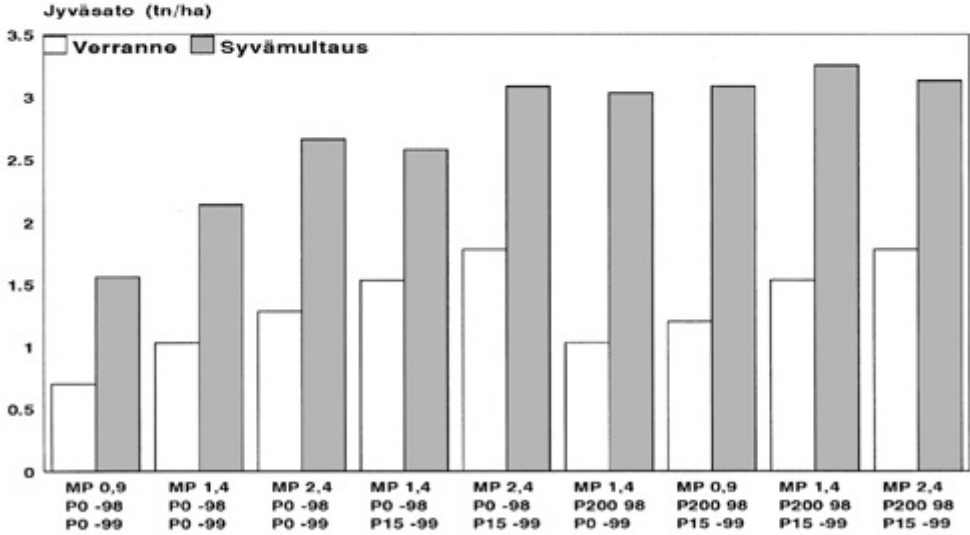
Kevyesti muokatuilla savimailla kannattaneet kokeilla hyvin aikaisessa vaiheessa, noin viikko orastumisen jälkeen, suoritettua ”juurrutuskaustelua” pienellä (8–12 mm:n) määrällä vettä tai laimeaa lietelantaa. Kasteleminen helpottaisi pienten oraiden fosforin ja muidenkin ravinteiden saantia, ja toimisi siten myös starttilannoitteena. Parhaimmin kasvaneissa paikoissa ohran juuristo oli Ojaisten savimaassa syksyllä vuonna 1999 tiheää 90 cm:n syvyyteen saakka ja ulottui jopa 140 cm:iin. Ohraa lannoitettiin keväällä 1999 vain suomensalpietarilla, mutta edellisten vuosien fosforilannoituksen jälkivaikutuksen puuttuminen viittaa siihen, ettei fosforin saannilla ollut merkittävää vaikutusta eri syysmuokkaustapojen aiheuttamiin satoeroihin. Kuvassa 2.7a esitettävät koetulokset Englannista 1970-luvulta osoittavat kuitenkin, että jankon PK-lannoitus voi olla joissakin olosuhteissa erittäin hyödyllistä.



a) Jankon kuohkeuttamisen ja 23-46 cm:n syvyyteen mullatun PK-lannoituksen vaikutus ohran satoon ja ravinteiden ottoon Englannissa vuosina 1974-1977.



b) Syksyn 1993 kytösyvyyden ja vuosien 1997-1998 syvämuokkauksen vaikutus ohran satoon runsasfosforisella savimaalla Jokioisissa 1999



c) Vuosien 1992-1997 P-lannoituksesta johtuvan maan fosforipitoisuuden (MP), syksyllä 1998 syvämuuttatun superfosfaatin (200 kg P/ha) ja kevään 1999 kylvölannoituksen (15 kg P/ha) vaikutus kaurasatoon niukkafosforisella savimaalla Jokioisissa 1999.

Kuva 2.7. Fosforin syvämuokkauksen vaikutus

- a) ohran satoon ja ravinteiden ottoon Englannissa 1970-luvulla,
- b) ohrasatoon Jokioisissa vuonna 1999 ja
- c) kaurasatoon Jokioisissa vuonna 1999.

Jokioisten Yönin niukkafosforisella savimaalla vuoden 1999 kaurasato jäi kaikilla käsitellyillä vaatimattomaksi, mikä osittain johtui myöhäisestä kylvöstä, joka tehtiin 20. toukokuuta (Kuva 2.7c). Fosforin syvämuokauskoe oli yhtenä kaistana, joka käsiteltiin kokonaan syvämuokauslaitteella noin 35 cm:n syvyyteen, ja fosforilannoitukset toistui kolmessa kerranteessa. Syksyllä 1998 normaaliin tapaan kynnetyn maan verrannesadot ovat viereisestä kokees-

ta, joten liian varmoja päätelmiä tulee varoa. Toisaalta edellisenä syksynä märissä oloissa syvämuokatussa pellossa kaura orastui jonkin verran huonommin ja oli siten aukkoisempaa kuin kynnetyissä, mikä korostaa kasvuolojen paranemista syvällä muokkauksella myöhemmin kasvukaudella. Ruokamullan syvämuokaus oli hyödyllistä niissäkin koeruuduissa, joita on viljelty vuodesta 1992 saakka ilman fosforilannoitusta ja joissa maan liukoisen fosforin pi-

toisuus oli vain 0,9 mg/l ja viljavuusluokka huono. Näinkin laihasta ruokamullasta kasvit saavat fosforia kuitenkin paremmin kuin lannoittamattomasta jankosta, mikä on todettu tutkimalla samalta lohkolta eri syvyyksistä otettuja maita astiakokeella.

Vuosien 1992–1997 runsas fosforilannoitus, joka kasvatti maan liukoisen fosforin pitoisuuden lannoittamattomaan verrattuna yli kaksinkertaiseksi, suurensi kaurasadonkin melkein kaksinkertaiseksi, ja niukan fosforilannoituksen jälkivaikutuksella sato jäi edellisten puoliväliin (Kuva 2.7c). Ympäristötuen ehtojen peruslannoituksen mukaisen fosforimäärän (Pellon Y3 500, P 15 kg/ha) sijoittaminen keväällä 1999 lisäsi satoa edelleen parillakymmenellä prosentilla sekä niukan että runsaan fosforilannoituksen jälkeen. Peruslannoituksella saavutettiin suurin mahdollinen fosforilannoituksella saatavissa oleva sato, kun aikaisempien vuosien fosforilannoitus oli runsas ja maan P-luku 2,4 mg/l sekä viljavuusluokka huononlainen (rajat 2,0–3,5 mg/l). Useiksi vuosiksi tarkoitettun suuren fosforimäärän (200 kg P/ha) multaminen syksyllä superfosfaattina syvälle maahan tuotti täyden sadon kaikilla tutkituilla käsittelyillä, joissa jokaisessa oli tosin syvämultauksen täydennyksenä aikaisemmin tai vuonna 1999 annettua fosforia.

Ruokamullan syventäminen näytti pienentävän riittävää maan liukoisen fosforin pitoisuutta erittäin selvästi, kuten myös edellä esitellyssä Ilolan kokeessa. Maan viljavuuteen nähden niukasti lannoitetulla pellolla, jonka fosforiluku oli 1,4 mg/l ja viljavuusluokka edelleen huono (yläraja 2,0 mg/l), fosforin peruslannoitus tuotti kuitenkin syvämultauksen kanssa kuroja parikymmentä prosenttia vähemmän kuin runsas fosforilannoitus. Vuonna 1998 samassa kokeessa 14 kg/ha starttifosforia siemenriveihin saanut syysvehnä sen sijaan tuotti täyden sadon myös niukasti lannoitetulla savimaalla, jonka fosforiluokka oli huono (1,4 mg P/l). Viljavuustutkimuksen fosforin luokkarajojen tarkistaminen alaspäin näyttäisi olevan jäykkien savimaiden osalta tarpeellista myös tavanomaista muok-

kaustekniikkaa käytettäessä. Aitosavet ja sitä muistuttavat ”todelliset” savet, joiden savesprosentti on yli 50, tulisi erottaa omaksi ryhmäkseen sellaisista ”savimaista”, joissa tätä lajitetta on vähimmillään vain 30 % ja suurin osa maan painosta on karkeampaa ainesta. Runsashiesuisten maiden saves on yleensä karkeampaa kuin jäykempien savien (Sippola 1974), ja ne ovat siten ominaisuuksiltaan usein hiesumaisempia kuin pelkkä saviprocentti osoittaa.

Runsashiesuisia hiesusavia on nimitetty hienoiksi hiesuiksi (Sippola 1974), ja ehkä vähemmän onnistuneesti, hiesuisiksi hiesusaviksi (Saarela et al. 1995, Elonen et al. 1997). Lähinnä vastaava kansainvälinen nimitys on hiesuinen, savinen hiue (schluffig tonig Lehm, silty clay loam).

2.4 Yhteenveto ja päätelmät

Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että lannoitetun ruokamullan kuivuessa kasvien fosforin saanti voi olla savimaalla puutteellista, vaikka pintamaan liukoisen fosforin pitoisuus on korkea ja fosforilannoitus runsas. Ruokamullan ja fosforin syvämultauksen tavoitteena on parantaa fosforin saantia ja pienentää hyvään kasvuun tarvittavaa maan pinnan fosforipitoisuutta. Lannoitettua kerrosta syventämällä pyritään pidentämään viljan hyvää fosforin saantia kevätkesteuden turvin erityisesti sadonmuodostuksen kannalta kriittisessä vaiheessa korrenkasvun alussa, jolloin kasvuston jyväluku määräytyy. Aikaisempien maan kosteusmittausten ja teoreettisen tarkastelun mukaan lannoitetun kerroksen syventäminen 10–20 cm:llä pidentää hyvää fosforin saantia vähäsateisen alkukesän aikana 6–18 vuorokaudella, yhdessä kosteutta säästävän muokkauksen kanssa jopa 12–24 vuorokaudella. Ruokamullan ja fosforin syvämultauskäsittely on paljon vetovoimaa vaativana kallis menetelmä, mutta sen useita vuosia kestävä vaikutusaika pitää kustannukset kohtuullisina.

Ensimmäiset syvämultaukset tehtiin Jokioisissa vuoden 1993 syksyllä 20 tuu-

man syväkyntöauralla. Kynnön syventäminen 32 cm:iin paransi syysvehnän poudankestävyyttä ja satoa, mutta hiesuisen jankon sekoittaminen ruokamultaan lisäsi selvästi maan eroosioherkkyyttä ja sateisina kesinä heikensi hiukan kasvuakin. Vuoden 1999 kuivissa oloissa kuusi vuotta aikaisemmin tehty syväkyntö paransi kuitenkin ohran poudankestävyyttä ja suurensi satoa. Syväkyntö pienensi maan pinnan fosforipitoisuutta, mutta paransi samalla kasvien fosforin saantia kuivina kausina, jolloin fosforin saanti on vaikeinta ja sen merkitys sadonmuodostuksessa suurin. Ruokamullan syventäminen kyntämällä pienensi maan pinnan riittävää fosforipitoisuutta matalaan muokkaukseen verrattuna suunnilleen puolella. Pintamaan laimeneminen korosti kuitenkin kylvetäessä sijoitetun fosforin merkitystä. Parhaisiin tuloksiin niin maatalouden kuin ympäristönkin kannalta päästään siten käytettäessä syvämultausta yhdessä starttilannoituksen kanssa.

Syksystä 1996 alkaen ruokamullan ja fosforilannoitteen syvämultauksessa on käytetty erikoisauraa, jolla maan pintaan jää yhtenäinen kerros alkuperäistä pinta- maata. Tekniset alkuvaikeudet ja kasvukauden 1998 sateisuus heikensivät menetelmän hyödyllisyyttä vuosina 1997 ja 1998. Niukkafosforisen savimaan syvämultauskäsitte- ly arveluttavan määrissä oloissa syksyllä 1998 paransi sen sijaan kauran poudankestävyyttä kuivana kasvukautena vuonna

1999 jopa odottamattoman tehokkaasti. Ruokamullan ja fosforin syvämultaus tuotti noin kaksinkertaisia kaurasatoja normaalilla syyskynnöllä saatuihin verrattuna ja pienensi täyteen satoon riittävää maan liukoisen fosforin pitoisuutta. Kun pintamaan fosforipitoisuus oli edellisten vuosien lannoituksella noussut 2,4 mg:aan/l, kaura tuotti syvämultauksen jälkeen täyden sadon sijoitettaessa keväällä fosforia peruslannoituksen mukainen määrä 15 kg/ha.

Tässä tutkimuksessa saadut koetulokset osoittavat, että fosforilla rikastetun kerroksen syvyys on kasvien fosforin saannin kannalta erittäin tärkeä tekijä. Lannoitetun kerroksen suunnitelmallinen syventäminen ruokamullan ja fosforin syvämultauksella tarjoaa merkittäviä potentiaalisia etuja sekä maataloudelle että ympäristölle. Tämän menetelmän kehittämistä ja tutkimista tulisi jatkaa kokeilemalla sitä savien lisäksi muillakin maalajeilla ja useammilla kasveilla. Käytännön sovellutuksiakin kannattaa har- kita jo lähivuosina. Tuloksia voidaan sovel- ta myös ilman erikoislaitteita syventämäl- lä jäykkien savimaiden normaalia kyntöä sopivan kuivissa kosteusoloissa 3–6 cm:llä muutaman vuoden välein. Lannoitetun kerroksen syventyessä parillakymmenellä pro- sentilla, siihen sopii kotoisen lannan fosfo- ria ympäristötuen puitteissa huomattavasti enemmän, ja fosforin puutteen helpottumi- nen kuivina kasvukausina suurentaa satoja todennäköisesti useilla prosentteilla.

Kirjallisuus

Alakukku, L. 1997. Long-term compaction due to high axle load traffic. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 55 p. ISBN 951-729-485-9. Academic dissertation.

– & **Elonen, P.** 1997. Tiiviin maan syväkuohkeus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 30. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 22 p. ISBN 951-729-505-9, ISSN 1238-9935.

Anttinen, O. 1959. Saraturvesuon kalkitus- ja lannoituskokeen tuloksia. Valtion maatalouskoe-

toiminnan julkaisuja 172. Helsinki: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 1–32.

Aura, E. 1985. Maaperävaatimukset. Nurmen viljelytekniikka. Tieto tuottamaan 31. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 19–21.

Barber, S. A. 1995. Soil nutrient bioavailability. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons. 414 p. ISBN 0-471-58747-8.

Bertilsson, G. 1987. Kalkbehov och pH-ändringar förursakat av jonvandring. NJF-utredning-

er/rapporter 46. Nordiske Jordbrugsforskeres Forening. p. 16–19. ISSN 0333-1350.

Brown, A. J. 1999. Soil sampling and sample handling for chemical analysis. In: Peverill, K. I., Sparrow, L. A. & Reuter, D. J. (eds.). *Soil Analysis, an Interpretation Manual*. Collingwood: CSIRO Publishing. p. 35–53. ISBN 0 643 06376 5.

Elonen, P. 1980. Sijoituslannoitus – kasvintuotantomme suuri edistysaskel. In: Maan ja kasvun hyväksi. Vuorineuvos Martti Hovin juhlauskaisu. Helsinki: Kemira Oy. p. 89–104.

– & **Kara, O.** 1972. Springler irrigation of clay soils in southern Finland. IV. The effect of repeated application of water and nitrogen fertilization on spring cereals. (Selostus: Kevätviljojen sadetuksesta Etelä-Suomen savimailla. IV. Sadetuksen uusimisen ja typpilannoituksen vaikutus.). *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 44: 149–163.

– & **Mäntylähti, V. et al.** 1997. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 30 p. ISBN 951-97434-1-3.

Finck, A. 1992. *Dünger und Düngung*. 2. Aufl. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft. 488 p. ISBN 3-527-28356-0.

Graham, R. D. & Webb, M. J. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J. J. (ed.). *Micronutrients in agriculture*. 2nd ed. Soil Science Society of America Book Series 4. Madison: Soil Science Society of America. p. 329–370. ISBN 0-89118-797-9.

Haak, E. 1993. Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar i Norrland. Institutionen för markvetenskap, Avdelning för växtnäringslära. Rapport 192. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitetet. 31 p. ISSN 0348-3541, ISRN SLU-VNL-R-192-SE.

– & **Simán, G.** 1992. Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad. Institutionen för markvetenskap, Avdelning för växtnäringslära. Rapport 188. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitetet. 38 p. ISSN 0348-354, ISRN SLU-VNL-R-188-SE.

– & **Simán, G.** 1997. Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962–92. Institutionen för markvetenskap, Avdelning för växtnäringslära. Rapport 198. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitetet. 29 p. ISSN 0348-354, ISRN SLU-VNL-R-198-SE.

Hakkola, H. 1991. Nurmien kalkitus. Kalkitusopas. Tieto tuottamaan 55: 42–44.

– 1998. Annual and storage application of phosphorus to ley. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 135: 99–104.

Hansen, L. 1969. Strukturförsök på marskjord. *Tidskrift för Planteavl* 73: 25–37.

Hartge, K. H. 1976. Bodengefüge. In: Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (eds.). *Bodenkunde*. 9. Aufl. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. p. 134–161. ISBN 3-432-84779-3.

Heinonen, R. 1992. Maan rakenne. In: Heinonen, R. (ed.). *Maa, viljely ja ympäristö*. Porvoo: WSOY. p. 90–141. ISBN 951-0-17090-9.

Hiivola, S.-L. 1991. Viljojen kalkituskoikeita Etelä-Pohjanmaalla. Kalkitusopas. Tieto tuottamaan 55: 37–41.

Hylander, L. 1995. Inconsistent liming effects: a causal analysis. Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations 25. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 33 p. ISSN 1100-4525, ISBN 91-576-5045-4.

Jaakkola, A. 1982. Tuloksia kalkituskoikeista. Kalkitusopas. Tieto tuottamaan 18: 19–29.

–, **Hakkola, H. Köylijärvi, J. & Simojoki, P.** 1977. Effect of liming on phosphorus fertilizer requirement in cereal and ley. (Selostus: Kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen fosforilannoitustarpeeseen.). *Annales Agriculturae Fenniae* 16: 207–219.

–, **Hartikainen, H. & Lemola, R.** 1997. Effect of fertilization on soil phosphorus in a long-term field experiment in southern Finland. Selostus: Maan fosforitilan muutos pitkäaikaisessa kenttäkoikeessa hietamaalla. *Agricultural and Food Science in Finland* 6: 313–322.

–, **Syvälähti, J. & Saari, E.** 1982. Contents of mineral elements in Finnish cereal straw. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 54: 385–394.

Jokinen, R. 1983. Variability of topsoil properties and number of samples needed for estimation of soil properties. (Selostus: Maan ominaisuuksien vaihtelevuus muokkauskerroksessa ja analyyseja varten tarvittava näytteiden lukumäärä.). *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 55: 109–117.

– 1985. The evaluation of the magnesium status of Finnish soil types. (Selostus: Suomalaisen maalajien magnesiumipitoisuus.). *Annales Agriculturae Fenniae* 24: 131–137.

Kemppainen, E., Jaakkola, A. & Elonen, P.

1993. Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 15/93. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 44 p. ISSN 0359-7652.

Keränen, T. & Honkavaara, T. 1972. Kalkituskoelaitteilla vuosina 1928–67. Kehittyvä Maatalous 6: 15–39.

– **Marjanen, H.** 1972. Kalkitus ja fosfaattilannoitus. Paikalliskokeiden tuloksia 1940-, 1950- ja 1960-luvulta. Kehittyvä Maatalous 6: 3–14.

Kohnke, H. & Bertrand, A. R. 1956. Fertilizing the subsoil for better water utilization. Soil Science Society of America Proceedings 20: 581–586.

Köylijärvi, J. 1966. Aitosaven kalkituksesta. Koitoiminta ja käytäntö 23 (Heinäkuu 1966): 25.

– 1991. Kalkitus viljatilalla. Kalkitusopas. Tieto tuottamaan 55. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 33–37. ISBN 951-9474-41-2, ISSN 0357-7295.

Lakanen, E. 1971. The effect of liming and long-term fertilizing upon the nutrient status of peat soil and mineral composition of plant material. (Selostus: Turvemaan kalkituksen ja pitkäaikaisen lannoituksen vaikutus maan ja kasvin ravintilaan.). Annales Agriculturae Fenniae 10: 194–202.

– **Vuorinen, J.** 1963. On the effect of liming on the solubility of nutrients in various Finnish soils. (Selostus: Kalkituksen vaikutuksesta ravinteiden liukoisuuteen.). Annales Agriculturae Fenniae 2: 91–102.

Larpes, G. 1967. Kevätviljojen syvälannoitus. Maatalous ja koitoiminta 21: 20–25.

– 1977. Lannoitteiden vertailu kevätiljanviljelyssä savimaalla. Koitoiminta ja käytäntö 34 (25.1.1977): 25.

Lyngstad, I. 1986. Virkningar av store kalkmengder til korn. (Summary: Effects of heavy liming to spring cereals.). Forskning of försök i landbruket 37: 9–14.

McEwen, J. & Johnston, A. E. 1979. The effects of subsoiling and deep incorporation of P and K fertilizers on the yield and nutrient uptake of barley, potatoes, wheat and sugar beet grown in rotation. Journal of Agricultural Science, Cambridge 92: 695–702.

Myllys, M. & Elonen, P. 1989. Kasvit tehokkaita veden haihduttajia. Koitoiminta ja käytäntö 46 (28.2.1989): 8.

Neumann, G. & Römheld, V. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. Plant and Soil 211: 121–130.

Nye, P. H. & Tinker, P. B. 1977. Solute movement in the soil-root system. Oxford: Blackwell Scientific Publications, Studies in Ecology 4. 342 p. ISBN 0-632-09730-2.

Olness, A. 1999. A description of the general effect of pH on formation of nitrate in soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 162: 549–556.

Patrick, W. H., Jr., Sloane, L. W. & Phillips, S. A. 1959. Response of cotton and corn to deep placement of fertilizer and deep tillage. Soil Science Society of America Proceedings 23: 307–310.

Pietilä, L. 1993. Perunarupi. Perunan kasvinsuojelu. Tieto tuottamaan 66: 46–49.

Pitkänen, J. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 21/88. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 62–162. ISSN 0359-7652.

Rowell, D. C. 1988. Soil acidity and alkalinity. In: Wild, A. (ed.). Russel's soil condition and plant growth. 11. ed. Harlow: Longman Scientific & Technical. p. 844–898. ISBN 0-582-44677-5.

Saarela, I. 1983a. Lannoitteet ja runsasravinteiset maat. Koitoiminta ja käytäntö 40 (16.8.1983): 49.

– 1983b. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 10/83. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 1–13. ISSN 0359-7652.

– 1989. Growth of rye grass, barley and oats in soils amended with ashes of wood, bark, peat and coal. (Selostus: Raiheinän, ohran ja kauran kasvu puun, kuoren, turpeen ja kivihien tuhkalta parannetuilla mailla). Annales Agriculturae Fenniae 28: 121–132.

– 1990a. Kalkitus ei kuormita. Käytännön maamies 39, 11: 38–41.

– 1990b. Inorganic leaf phosphorus as an indicator of phosphorus nutrition in cereals. In: van Beusichem, L. M (ed.). Plant nutrition – physiology and applications. Developments in Plant and Soil Science 41: 779–784. ISBN 0-7923-0740-2.

– 1991a. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. (Selostus:

Puun, kuoren, turpeen ja kivihiilen tuhkat kalkitusaineina sekä kalsiumin, magnesiumin, kaliumin ja fosforin lähteinä.). *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 375–388.

– 1991b. Mangaani sijoittain tai kasvustoon. Äestään mullattu mangaanilannoite heikkotehoisen. Koetointia ja käytäntö 48 (26.3.1991): 31.

– 1992. Simple diffusion test for soil phosphorus availability. *Plant and Soil* 147: 115–126.

– 1994. Muokkauksen vaikutus kasvien fosforin saantiin. Koetointia ja käytäntö 51 (23.11.1994): 44.

– 1998. Availability of phosphorus in different ashes, manures and sewage sludges. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 135: 157–163.

– 1999. Ruokateollisuusperunan kalsiumpitoisuus 1997–1998. Tutkimusselostus. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus. 6 p.

– , **Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K.** 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 16/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 94 p. ISSN 0359-7652.

– , **Köylijärvi, J., Järvi, A. & Vuorinen, M.** 1988. Perustettavan nurmen fosforilannoitus. Koetointia ja käytäntö 25 (26.5.1988): 36.

– & **Saarela, K.** 2000. Mapping spatial variation in diffusible soil P by in situ colouring in Fe-oxide paper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31: In press.

– & **Sippola, J.** 1987. Kalkituksen vaikutus kasvien fosforin saantiin. Koetointia ja käytäntö 44 (10.11.1987): 52.

– & **Sippola, J.** 1990. Inorganic leaf phosphorus and soil tests as indicators of phosphorus availability in cereals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21, 13–16: 1927–1943.

Schachtschabel, P. 1976. Bodenaciditet. In: Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (ed.). Boden-

kunde. 9. Aufl. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. p. 110–124. ISBN 3-432-84779-3.

Simán, G., Berglund, K. & Eriksson, L. 1982. Effekt av stora kalkgivor på jordens struktur, växtnäringsushållning, skördens storlek och skördeprodukternas innehåll av växtnäring. Institutionen för markvetenskap, Avdelning för växtnäringslära, Rapport 148. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitetet. 70 p. ISSN 0348-3541, ISRN SLU-VNL-R-188-SE.

– 1987. Effekt av kalk på mark och gröda i de svenska kalkningsförsöken. NJF-utredningar/rapporter 46. Nordiske Jordbruksforskernes Forening. p. 46–51. ISSN 0333-1350.

Sippola, J. 1974. Mineral composition and its relation to texture and to some chemical properties in Finnish subsoils. (Selostus: Pohjamaanäytteiden mineraalikoostumuksesta ja sen suhteesta lajitekoostumukseen sekä eräisiin kemialisiin ominaisuuksiin.). *Annales Agriculturae Fenniae* 13: 169–234.

– & **Saarela, I.** 1992. Suomen maalajien fosforinpidätysominaisuudet ja niiden merkitys vesien kuormituksen kannalta. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 359. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. p. 27–36. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.

Stålberg, S. 1982. Estimation of the requirement of liming by determination of exchangeable soil aluminium. *Acta Agriculturae Scandinavica* 32: 357–367.

Tiiri, J. 1991. Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/91. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 82 p. ISSN 0359-7652.

Visser, W. C. 1938. Kalktoestand en oogstopbrengst. (Summary: Lime status and yield of crop.). *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* 44 A: 221–267.

Öien, A. 1978. Prosentfordeling av jordprøver på ulike pH-klasser i dyrka jord i Norge. *Nordisk Jorbruksforskning* 60: 680–681.

Liite 1.1. Mietoisten aitosavikokeen sadot ja niiden laatu vuosina 1991 ja 1993 levytyillä kalkkimäärillä 0 ja 12 + 4 ja 30 +10 t/ha ja vuosittain sijoitetulla tai (v. 1997) erikseen mulla-tulla fosforilannoituksella. # = rypsiällä hehtolitrapainon tilalla öljypitoisuus (%). □ = keskisa-doissa on mukana myös vuoden 1998 rypsi kaksinkertaisena.

Vuosi Kasvi	P-lan- noitus kg/ha	Vilja/rypsisato, kg/ha			Hehtolitrapaino, kg #			1000 jyvän paino, g			Täysjyväsäisyys, %		
		Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha		
		0	12+4	30+10	0	12+4	30+10	0	12+4	30+10	0	12+4	30+10
1991	0	3960	4000	4010	63,6	63,4	62,9	39,8	40,5	41,1	43,1	44,1	46,8
Ohra	10	4300	4370	4410	63,7	64,0	64,0	40,5	40,5	42,2	47,6	53,0	51,6
Kymppi	20	4480	4610	4590	64,5	64,7	64,7	41,5	43,7	42,8	52,1	55,9	54,6
1992	0	2730	3320	3090	67,9	68,5	68,1	45,6	47,0	46,4	44,2	48,8	44,5
Ohra	8	3180	3130	3280	68,8	67,8	68,5	47,2	47,6	46,4	51,7	48,8	45,0
Kymppi	23	3170	3400	3630	68,5	69,4	69,1	46,4	48,0	47,5	53,4	54,7	51,3
1993	0	4520	5050	5120	86,6	85,5	87,0	35,9	36,0	37,3			
K.vehnä	8	5110	5220	5330	86,0	86,3	86,9	37,1	36,9	37,6			
Satu	23	5450	5650	5580	85,4	87,1	86,6	36,5	37,4	37,2			
1994	0+0	4560	4710	4870	86,7	85,9	86,3	37,4	38,2	39,5			
K.vehnä	0+15	4620	4790	4930	86,7	85,7	86,1	37,9	38,9	38,3			
Manu	8+0	4730	4720	5010	86,3	86,0	86,2	38,6	38,4	39,3			
	8+15	4800	4840	4950	86,1	86,1	86,4	38,0	38,7	39,4			
	18+0	4810	4860	4900	86,2	86,2	85,8	38,1	38,1	39,1			
	18+15	4610	4910	4940	85,9	85,9	86,3	37,9	39,1	38,6			
1995	0+0	5650	5680	6310	71,1	72,4	71,4	56,3	57,8	57,5	95,3	95,6	95,9
Ohra	0+15	6110	5940	6230	72,0	71,4	71,1	57,7	56,7	57,9	93,8	95,9	95,7
Prisma	8+0	5880	6030	5810	70,9	72,0	72,0	57,7	56,1	56,9	95,5	96,1	95,6
	8+15	6020	5940	6080	71,1	71,6	71,6	56,0	56,1	56,9	95,1	95,0	96,3
	18+0	6270	5490	5880	71,4	70,8	71,4	55,8	56,1	57,3	94,5	94,6	93,3
	18+15	6010	5630	6000	71,7	71,3	71,7	56,4	57,3	57,1	95,2	95,3	95,5
1996	0+0	3540	4290	4510	66,6	67,9	67,8	44,4	44,7	42,4	74,0	71,0	68,9
Ohra	0+10	3690	4520	4540	68,1	67,9	68,3	42,8	42,8	42,8	73,9	75,0	72,2
Prisma	0+0	3680	4310	4650	68,6	67,2	68,2	45,9	43,0	43,9	75,4	73,3	67,6
	0+10	3970	4430	4600	68,3	68,7	68,9	43,1	44,8	42,8	76,2	74,3	71,8
	0+0	3950	4460	4860	67,1	67,9	68,2	40,8	43,2	42,2	72,8	72,4	68,7
	0+10	4050	4540	4770	68,7	68,9	68,9	44,4	43,8	44,3	75,1	72,0	71,1
1997	0+0	2750	3690	4060	66,3	66,3	67,6	42,8	43,3	44,3	50,6	53,9	54,6
Ohra	0+18	3140	3690	4020	66,0	66,5	67,4	44,3	44,7	46,0	55,6	56,7	57,9
Saana	60+0	2990	3610	4180	66,4	66,0	67,0	43,5	44,3	44,4	55,6	53,8	56,9
	60+18	3250	3640	4190	66,6	66,4	67,2	45,4	45,6	46,0	57,0	56,4	58,9
	0+0	2990	3770	4220	66,2	66,8	67,0	43,3	45,3	43,9	50,9	54,2	55,3
	0+18	3220	3970	4200	65,9	67,1	66,6	45,0	45,2	44,6	54,9	57,4	57,0
1998#	0+0	1680	1990	2090	(48,9	50,8	49,8)	2,49	2,38	2,31			
K.rypsi	0+18	1890	2040	2170	(47,9	49,3	50,6)	2,43	2,41	2,30			
Kulta	0+0	1820	2030	2200	(48,8	48,4	49,1)	2,46	2,40	2,14			
	0+18	1920	2050	2310	(50,8	49,2	48,6)	2,44	2,35	2,29			
	0+0	1800	2010	2240	(49,5	48,5	49,2)	2,51	2,35	2,20			
	0+18	1860	2130	2190	(51,5	48,9	48,6)	2,46	2,32	2,18			
1991–	0	3880	4340	4520	72,7	72,8	73,0	43,2	43,9	44,1			
1997□	9,0	4070	4420	4540	73,0	72,7	73,0	43,4	43,8	44,3			
	12,8	4190	4430	4630	73,0	72,8	73,3	44,4	43,8	44,4			
	22,3	4310	4460	4680	72,9	73,0	73,4	43,9	44,3	44,5			
	12,8	4320	4530	4770	72,8	73,3	73,3	43,2	44,5	44,3			
	22,3	4340	4620	4760	72,9	73,5	73,4	44,0	44,9	44,6			

LIITE 1 (2/8)

Liite 1.2. Jokioisten Iolan hiesavikokeen sadot (kg/ha) ja niiden laatu eri määrillä vuonna 1993 levitettyä kalkkia (0, 10 ja 24 t/ha) sekä vuonna 1993 peruslannoitteeksi levitettyä ja vuosittain kylvölannoituksessa sijoitettua fosforia. # = rypsilä hehtolitrainon paikalla öljypitoisuus (%).

Vuosi	Kasvi(t)	P-lannoitus, kg/ha		Vilja/rypsisato Kalkkia, t/ha			Hehtolitraino, kg# Kalkkia, t/ha			1000 jyvän paino, g Kalkkia, t/ha		
		1993	Koev:na	0	10	24	0	10	24	0	10	24
1994	Syysvehnä	0	0	3280	3440	3440	71,8	71,4	72,2	32,9	32,7	32,6
	Aura +	0	20	3480	3650	3470	71,0	71,1	70,7	33,6	33,8	33,1
	Ohra	200	0	3750	3780	3670	72,8	72,2	73,1	33,6	32,9	31,9
	Artturi	200	20	3700	4000	3680	71,6	72,0	71,7	33,1	33,2	32,4
1995	Kevätvehnä	0	0	4820	4780	4860	82,1	82,1	82,1	39,2	39,4	39,6
	Manu	0	33	4950	4910	5050	82,1	82,1	82,1	39,6	39,4	40,0
		200	0	4700	4930	4930	82,3	82,3	82,3	39,1	39,7	39,8
		200	33	4590	4860	4920	82,2	83,4	82,3	39,1	39,6	39,4
1996	Kevätrypsi#	0	0	1630	1730	1920	(47,4	47,2	47,1)	2,67	2,63	2,62
	Valo	0	31	1820	1860	1970	(47,9	47,1	46,9)	2,57	2,57	2,51
		200	0	1770	2030	2140	(48,1	48,1	47,5)	2,62	2,57	2,54
		200	31	1560	1870	2010	(47,6	47,7	47,3)	2,65	2,59	2,57
1997	Kevätvehnä	0	0	3900	4300	4520	75,3	75,6	75,8	31,0	31,7	32,2
	Mahti	0	17	4520	4670	4920	76,1	75,9	76,3	32,5	32,5	33,5
		200	0	4360	4730	4900	75,9	76,0	76,3	32,1	32,7	33,2
		200	17	4470	4800	4970	75,7	75,8	76,3	32,6	32,6	34,3
1998	Ohra	0	0	3870	4130	4330	62,7	63,0	62,2	42,0	41,9	40,8
	Saana	0	15	4450	4520	4560	63,1	62,9	62,5	41,7	41,5	40,5
		200	0	4110	4580	4600	62,7	62,9	62,7	41,5	41,2	40,9
		200	15	4280	4510	4630	63,3	63,3	63,2	42,0	41,6	40,9
Keskimäärin (rypsi on mukana keskisadoissa kaksin- kertaisena)		0	0	3830	4020	4200	73,0	73,0	73,1	36,3	36,4	36,3
		0	23	4210	4300	4390	73,1	73,0	72,9	36,8	36,8	36,8
		200	0	4090	4420	4470	73,5	73,3	73,6	36,6	36,6	36,5
		200	23	4030	4380	4440	73,2	73,6	73,4	36,7	36,7	36,5

Liite 1.3. Jokioisten Ojaisten hiesavalle vuosina 1980 (10 t/ha), 1995 (10 t/ha) ja 1998 (6 t/ha) levitetyn kalkin sekä vuosina 1980–1989 ja 1996 (10*60 +90, yht. 690 kg/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin vaikutus viljan ja rypsin satoon ja sen ulkoiseen laatuun. Ke­vään 1995 kalkitus annettiin vain kahdelle neljästä kerranteesta. (# = rypsilä hehtolitrapai­non paikalla öljypitoisuus). □ = rypsin sadot ovat mukana keskiarvoissa kahdella kerrottui­na, hehtolitrapainot ja 1000 jyvän painot viljojen keskiarvoja.

Vuosi	Kasvi	Ker­ran­ne	P-lannoit­us, kg/ha	Vilja/rypsisato				Hehtolitrapaino, kg #				1000 siemenen paino, g				
				Kalkitus v.1980–98 (–95)				Kalkitus v.1980–98 (–95)				Kalkitus v.1980–98 (–95)				
				–80–96	Koef.	0	(10)	10+6	10+6(+10)	0	(10)	10+6	10+6(+10)	0	(10)	10+6
1994	K.vehnä Satu	1–4	0	0	5050	5380			81,3	81,5			36,7	37,3		
			0	34	5280	5500			81,4	81,7			36,9	37,7		
			690	0	5360	5320			81,8	81,6			37,0	37,7		
			690	34	5370	5440			81,2	81,6			37,5	37,8		
1995	Ohra Artturi	1–4	0	0	4070	4160			63,4	63,7			38,0	38,8		
			0	33	4220	4330			63,7	63,7			38,9	38,6		
			690	0	3840	4510			63,2	63,9			37,4	39,2		
			690	33	4040	4660			63,4	63,8			38,3	39,1		
		3–4	0	0	3380	4820	3860	3590	63,4	64,0	63,5	63,2	37,6	38,8	38,4	36,2
			0	33	3910	5000	4030	3610	63,6	64,3	63,2	63,4	38,1	40,1	37,1	37,2
			690	0	3100	3470	5050	4310	62,9	63,6	64,3	63,8	36,1	37,4	39,9	38,8
			690	33	3350	3400	4790	4690	63,0	63,7	63,6	64,2	37,1	37,9	38,7	39,6
1996	S.vehnä Aura	1–4	0	0	6420	6420			78,2	77,8			37,6	37,3		
			0	15	6910	6780			78,5	78,1			38,2	37,9		
			690	0	6340	6750			78,2	78,0			38,3	37,9		
			690	15	6720	6670			78,5	77,9			38,9	38,1		
		3–4	0	0	5940	7000	6330	6280	78,1	78,9	77,7	78,0	37,2	38,5	36,7	37,3
			0	15	6870	7080	6680	6650	79,0	79,0	78,2	78,4	38,0	39,1	37,7	38,4
			690	0	5900	6510	6760	6430	78,1	78,5	77,9	78,3	37,9	38,0	37,6	37,5
			690	15	6790	6810	6960	6700	78,9	79,0	78,4	78,3	38,8	38,6	38,3	37,7
1997	K.rypsi Valo #	1–4	0	0	1980	1960			(46,2	46,7)			2,19	2,23		
			0	18	2030	2030			(45,9	46,4)			2,22	2,25		
			690	0	1930	2130			(46,1	47,0)			2,12	2,25		
			690	18	2030	2140			(45,8	46,5)			2,22	2,26		
		3–4	0	0	1840	1990	1800	1860	(46,3	44,9	46,6	46,7)	2,15	2,25	2,14	2,08
			0	18	2020	2260	1960	1890	(46,0	46,0	47,5	46,8)	2,20	2,33	2,22	2,22
			690	0	1760	1950	2240	2100	(45,6	46,2	46,3	45,8)	2,01	2,22	2,26	2,24
			690	18	1890	2000	2200	2320	(46,6	45,3	46,5	45,6)	2,18	2,22	2,33	2,30
1998	K.rypsi Valo #	1–4	0	0	1100	1120			(43,5	44,4)			1,98	2,02		
			0	18	1120	1180			(43,9	44,4)			2,03	2,03		
			690	0	1050	1130			(44,3	44,2)			2,06	2,01		
			690	18	1100	1160			(44,1	44,0)			2,05	2,08		
		3–4	0	0	1080	970	1070	970	(44,4	43,7	44,3	44,1)	1,95	2,06	2,06	2,10
			0	18	1150	1080	1200	1020	(44,0	44,5	45,3	44,7)	2,05	1,99	2,10	2,12
			690	0	1060	1140	1190	1130	(45,0	44,9	43,9	43,7)	2,08	2,10	1,98	2,04
			690	18	1140	1240	1260	1280	(44,4	44,4	43,9	44,0)	2,10	2,08	2,09	2,07
1994–1998□		1–4	0	0	4340	4420			74,3	74,3			38,0	38,4		
			0	24	4540	4610			74,5	74,5			38,8	38,7		
			690	0	4300	4620			74,4	74,5			38,2	38,9		
			690	24	4480	4680			74,4	74,5			38,8	39,0		
		3–4	0	0	4020	4530	4260	4180	74,4	74,8	74,4	74,4	37,0	37,8	37,2	36,6
			0	24	4440	4770	4500	4310	74,7	75,0	74,5	74,6	37,4	38,5	37,3	37,5
			690	0	3950	4250	4770	4490	74,4	74,8	74,7	74,7	36,8	37,3	38,4	37,9
			690	24	4280	4370	4810	4800	74,4	74,7	74,6	74,8	37,5	37,7	38,4	38,5

LIITE 1 (4/8)

Liite 1.4. Mietoisten aitosavikokeen siemensatojen kuiva-aineen fosforipitoisuus ja fosforin otto sekä pellon fosforitase vuosina 1991+1993 levityillä kalkkimäärillä 0, 12 + 4 ja 30 +10 t/ha ja vuosittain sijoitetulla tai (v. 1997) erikseen mullatulla fosforilannoituksella.

Vuosi Kasvi	P-lann. Kg/ha	Sadon fosfori, g/kg			Fosforin otto, kg/ha			Fosforitase, kg/ha		
		0	12+4	30+10	0	12+4	30+10	0	12+4	30+10
1991	0	3,9	3,7	3,4	13,1	12,4	11,6	-13,1	-12,4	-11,6
Ohra	10	3,7	3,4	3,5	13,6	12,8	13,2	-3,6	-2,8	-3,2
Kymppi	20	3,7	3,5	3,6	14,0	13,9	13,9	+6,0	+6,1	+6,1
1992	0	3,4	3,3	3,4	7,9	9,4	8,9	-7,9	-9,4	-8,9
Ohra	8	3,3	3,4	3,4	8,9	9,0	9,6	-0,9	-1,0	-1,6
Kymppi	23	3,4	3,5	3,5	9,2	10,0	10,7	13,8	13,0	12,3
1993	0	4,2	4,2	4,1	16,1	18,2	17,9	-16,1	-18,2	-17,9
K.vehnä	8	4,3	4,3	4,1	18,5	19,2	18,7	-10,5	-11,2	-10,7
Satu	23	4,3	4,3	4,3	19,7	20,6	20,5	3,3	2,4	2,5
1994	0+0	4,0	4,1	4,0	15,4	16,5	16,6	-15,4	-16,5	-16,6
K.vehnä	0+15	4,1	4,1	4,1	16,0	16,8	17,1	-1,0	-1,8	-2,1
Manu	8+0	3,9	4,0	4,0	15,5	15,9	16,9	-7,5	-7,9	-8,9
	8+15	4,0	4,0	4,0	16,2	16,4	16,8	6,8	6,6	6,2
	18+0	4,1	4,0	4,0	16,2	16,5	16,7	1,8	1,5	1,3
	18+15	4,1	4,1	4,0	16,2	17,2	16,7	16,8	15,8	16,3
1995	0+0	3,7	3,7	3,8	17,7	17,8	20,2	-17,7	-17,8	-20,2
Ohra	0+15	3,7	3,7	3,4	19,1	18,8	18,0	-4,1	-3,8	-3,0
Prisma	8+0	3,7	3,7	3,7	18,2	19,1	18,1	-10,2	-11,1	-10,1
	8+15	3,7	3,8	3,8	18,9	19,0	19,4	4,1	4,0	3,6
	18+0	3,6	3,7	3,8	18,8	17,4	18,9	-0,8	0,6	-0,9
	18+15	3,6	3,6	3,8	18,5	17,3	19,3	14,5	15,7	13,7
1996	0+0	3,6	3,8	3,9	10,7	13,7	15,1	-10,7	-13,7	-15,1
Ohra	0+10	3,8	3,8	3,9	11,8	14,5	15,2	-1,8	-4,5	-5,2
Prisma	0+0	3,7	3,9	4,1	11,7	14,4	16,2	-11,7	-14,4	-16,2
	0+10	3,7	3,8	4,1	12,5	14,3	16,2	-2,5	-4,3	-6,2
	0+0	3,6	3,8	3,8	12,0	14,5	15,9	-12,0	-14,5	-15,9
	0+10	3,6	3,6	4,2	12,4	14,0	16,9	-2,4	-4,0	-6,9
1997	0+0	4,1	4,3	4,1	9,5	13,4	14,2	-9,5	-13,4	-14,2
Ohra	0+18	4,2	4,1	4,0	11,1	13,0	13,7	6,9	5,0	4,3
Saana	60+0	4,1	4,1	3,9	10,5	12,7	13,9	49,5	47,3	46,1
	60+18	4,0	4,0	4,2	11,1	12,5	15,1	66,9	65,5	62,9
	0+0	4,1	4,2	4,1	10,5	13,6	14,8	-10,5	-13,6	-14,8
	0+18	4,0	4,3	4,4	11,0	14,4	15,6	7,0	3,6	2,4
1998	0+0	6,7	7,3	7,6	10,2	13,2	14,5	-10,2	-13,2	-14,5
K.rypsi	0+18	7,8	8,0	7,8	13,4	14,9	15,4	4,6	3,1	4,3
Kulta	0+0	7,5	7,6	7,8	12,4	14,0	15,6	-12,4	-14,0	-15,6
	0+18	7,8	7,8	7,7	13,7	14,5	16,1	4,3	3,5	1,9
	0+0	7,3	7,5	7,5	12,0	13,7	15,4	-12,0	-13,7	-15,4
	0+18	7,8	7,8	7,7	13,2	15,1	15,3	4,8	2,9	2,7
1991-	0	3,76	3,84	3,82	12,6	14,3	14,9	-12,6	-14,3	-14,9
1998	9,5	3,88	3,88	3,78	13,5	14,7	14,7	-4,0	-5,2	-5,2
	12,8	3,80	3,84	3,83	13,7	14,6	15,3	-0,9	-1,9	-2,5
	22,3	3,82	3,83	3,88	14,2	14,7	16,6	8,1	7,5	6,6
	12,8	3,79	3,85	3,86	14,0	15,0	15,8	-1,3	-2,3	-3,1
	22,3	3,83	3,86	3,93	14,3	15,3	16,1	8,0	6,9	6,1

Liite 1.5. Mietoisten aitosavikokeen siemensatojen kuiva-aineen tyyppipitoisuus ja typen otto sekä pellon tyyppitase vuosina 1991 ja 1993 levityillä kalkkimäärillä 0 ja 12 + 4 ja 30 +10 t/ha ja vuosittain sijoitetulla tai (v. 1997) erikseen mullatulla fosforilannoituksella.

Vuosi Kasvi	N-lann. Kg/ha	P-lannoitus Kg/ha	Sadon typpi, g/kg			Typen otto, kg/ha			Tyyppitase, kg/ha		
			0	12+4	30+10	0	12+4	30+10	0	12+4	30+10
1991	120	0	19,2	21,0	20,8	65	71	71	55	49	49
Ohra		10	20,3	19,9	20,3	74	74	76	46	46	44
Kymppi		20	20,1	20,6	20,2	77	81	79	43	39	41
1992	120	0	24,7	24,7	24,5	57	70	64	63	50	56
Ohra		8	23,7	23,9	24,4	64	64	68	56	56	52
Kymppi		23	24,0	23,6	23,8	65	68	73	55	52	47
1993	120	0	25,0	26,1	26,4	96	112	115	24	8	5
K.vehnä		8	25,4	25,7	25,9	110	114	117	10	6	3
Satu		23	25,7	25,8	26,6	119	124	126	1	-4	-6
1994	120	0+0	21,8	22,2	22,4	85	89	93	35	31	27
K.vehnä		0+15	21,4	22,1	21,8	84	90	91	36	30	29
Manu		8+0	21,8	21,8	22,8	88	88	97	32	32	23
		8+15	21,1	21,7	22,6	86	89	95	34	31	25
		18+0	21,4	21,8	22,6	87	90	94	33	30	26
		18+15	20,6	21,7	22,3	81	91	94	39	29	26
1995	120	0+0	15,5	16,9	16,2	75	82	87	45	38	33
Ohra		0+15	15,8	16,2	16,8	82	82	89	38	38	31
Prisma		8+0	16,0	16,0	15,5	80	82	76	40	38	44
		8+15	15,6	16,4	15,3	80	83	79	40	37	41
		18+0	15,5	15,7	15,8	80	73	79	40	47	41
		18+15	17,0	16,0	16,7	87	76	85	33	44	35
1996	90	0+0	15,9	15,9	16,6	48	58	64	42	32	26
Ohra		0+10	15,4	15,3	15,7	48	59	61	42	31	29
Prisma		0+0	15,6	15,5	16,4	49	57	65	41	33	25
		0+10	15,1	15,1	16,0	51	57	63	39	33	27
		0+0	15,7	15,7	16,3	53	60	67	37	30	23
		0+10	15,2	15,9	15,8	52	61	64	38	29	26
1997	90	0+0	17,9	17,7	18,0	42	55	62	48	34	28
Ohra		0+18	17,3	17,1	17,4	46	54	60	44	36	30
Saana		60+0	17,7	17,3	18,2	45	53	65	45	37	25
		60+18	17,2	17,1	17,9	48	53	64	43	37	26
		0+0	17,9	17,2	18,3	45	55	66	45	35	24
		0+18	16,7	17,4	17,5	46	59	63	44	31	27
1998	120	0+0	31,8	32,0	31,5	49	58	60	71	62	60
K.rypsi		0+18	30,0	31,0	31,0	52	58	61	68	62	59
Kulta		0+0	30,7	31,0	31,8	51	57	64	69	63	56
		0+18	28,8	30,5	30,2	50	57	63	70	63	57
		0+0	30,8	32,1	31,6	51	59	64	69	61	56
		0+18	28,3	31,3	31,3	48	61	63	72	59	57
1991– 1998	113	0	21,5	22,1	22,0	64,4	74,4	76,9	48,1	38,1	35,6
		9,5	21,1	21,7	21,8	66,2	74,3	76,5	46,3	38,2	36,0
		12,8	21,4	21,4	21,9	70,1	73,5	78,5	42,4	39,0	34,0
		22,3	20,9	21,3	21,6	79,4	73,8	78,1	42,1	38,7	34,4
		12,8	21,4	21,6	21,9	72,1	76,2	81,1	40,4	36,3	31,4
		22,3	20,9	21,5	21,8	71,7	77,6	80,8	40,8	34,9	31,7

LIITE 1 (6/8)

Liite 1.6. Jokioisten Iolan hiuesavikokeen siemensatojen kuiva-aineen fosforipitoisuus ja fosforin otto sekä pellon vuotuinen fosforitase eri määriillä vuonna 1993 levitettyä kalkkia (0, 10 ja 21 t/ha) sekä vuonna 1993 peruslannoitteeksi levitettyä ja vuosittain kylvölannoituk-
sessa sijoitettua fosforia.

Vuosi	Kasvi	P-lann. (kg P/ha)		Sadon fosfori, g/kg			Fosforin otto, kg/ha			Fosforitase, kg/ha		
		1993	Koev:na	Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha		
				0	10	24	0	10	24	0	10	24
1994	Syysvehnä	0	0	4,02	4,02	4,02	11,2	11,7	11,7	-11,2	-11,7	-11,7
	Aura+	0	20	3,98	3,98	3,98	11,9	12,4	11,7	8,1	7,6	8,3
	Ohra	200	0	4,11	4,07	4,07	13,1	13,1	12,7	186,9	186,9	187,3
	Artturi	200	20	4,08	4,08	4,08	12,8	13,9	12,8	207,2	206,1	207,2
1995	Kevätvehnä	0	0	3,86	3,94	3,96	15,8	16,0	16,3	-15,8	-16,0	-16,3
	Manu	0	33	3,91	3,99	3,98	16,4	16,6	17,1	16,6	16,4	15,9
		200	0	3,95	4,04	4,04	15,8	16,9	16,9	-15,8	-16,9	-16,9
		200	33	4,05	4,03	4,09	15,8	16,7	17,1	17,2	16,3	15,9
1996	Kevätrypsi	0	0	8,27	8,24	8,22	12,8	12,9	14,3	-12,8	-12,9	-14,3
	Valo	0	31	8,88	8,90	8,86	14,7	15,1	15,9	16,3	15,9	15,1
		200	0	8,91	9,19	9,01	14,3	17,0	17,5	-14,3	-17,0	-17,5
		200	31	9,08	9,04	9,08	12,9	15,4	16,6	18,1	15,6	14,4
1997	Kevätvehnä	0	0	4,37	4,48	4,37	14,5	16,4	16,8	-14,5	-16,4	-16,8
	Mahti	0	17	4,27	4,40	4,28	16,4	17,5	17,9	0,6	-0,5	-0,9
		200	0	4,46	4,40	4,42	16,5	17,7	18,4	-16,5	-17,7	-18,4
		200	17	4,38	4,37	4,54	16,7	17,8	19,2	0,3	-0,8	-2,2
1998	Ohra	0	0	3,40	3,42	3,45	11,2	12,0	12,7	-11,2	-12,0	-12,7
	Saana	0	15	3,31	3,41	3,55	12,5	13,1	13,8	2,5	1,9	1,2
		200	0	3,33	3,44	3,48	11,6	13,4	13,6	-11,6	-13,4	-13,6
		200	15	3,31	3,51	3,48	12,0	13,4	13,7	3,0	1,6	1,3
1994–1998		0		3,96	3,99	3,98	13,0	13,8	14,4	-13,0	-13,8	-14,4
		23,2		3,98	4,05	4,04	14,4	14,9	15,3	8,8	8,3	7,9
		40,0		4,06	4,11	4,10	14,3	15,6	15,8	25,7	24,4	24,2
		63,2		4,07	4,10	4,14	14,0	15,4	15,9	49,2	47,8	47,3

Liite 1.7. Jokioisten Iolan hiuesavikokeen siemensatojen kuiva-aineen typpipitoisuus ja typen otto sekä pellon vuotuinen typpitase eri määrillä vuonna 1993 levitettyä kalkkia (0, 10 ja 24 t/ha) sekä vuonna 1993 peruslannoitteeksi levitettyä ja vuosittain kylvölannoituksessa sijoitettua fosforia.

Vuosi	Kasvi, N-lann.	P-lann. (kg P/ha)		Sadon typpi, g/kg			Typen otto, kg/ha			Typpitase, kg/ha		
		1993	Koev:na	Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha			Kalkkia, t/ha		
				0	10	24	0	10	24	0	10	24
1994	Syysvehnä	0	0	25,5	25,8	26,2	70	74	76	80	76	74
	Aura 150 N	0	20	25,1	25,5	26,3	73	79	76	77	71	74
	+ Ohra	200	0	24,5	25,5	26,3	77	81	81	73	69	69
	Artturi	200	20	24,4	25,1	26,1	75	85	80	75	65	70
1995	Kevätvehnä	0	0	25,3	25,1	25,6	104	102	106	16	18	14
	Manu 120 N	0	33	25,1	25,2	25,6	106	105	110	14	15	10
		200	0	24,2	24,8	24,8	97	104	104	23	16	16
		200	33	23,8	24,6	25,0	93	102	104	27	18	16
1996	Kevätrypsi	0	0	31,4	31,7	32,0	48	50	56	62	60	54
	Valo 110 N	0	31	31,4	31,8	31,8	56	54	57	54	56	53
		200	0	30,1	30,7	31,2	52	57	61	58	53	49
		200	31	30,4	30,8	31,4	46	52	57	64	58	53
1997	Kevätvehnä	0	0	22,2	21,9	21,8	73	80	84	37	30	26
	Mahti 110 N	0	17	21,5	21,6	21,8	83	86	91	27	24	19
		200	0	21,5	21,2	21,3	79	85	89	31	25	21
		200	17	21,6	21,1	21,4	82	86	90	28	24	20
1998	Ohra	0	0	15,8	16,3	16,6	52	57	61	48	43	39
	Saana 100 N	0	15	16,1	16,4	16,9	61	63	66	39	37	34
		200	0	15,6	16,6	16,6	55	65	65	45	35	35
		200	15	15,6	16,4	16,7	57	63	66	53	37	34
1991–1998		0		24,1	24,1	24,4	69,3	72,6	76,4	48,7	45,4	41,6
	118 N	23,2		23,7	24,1	24,5	74,8	77,3	80,0	43,2	40,7	38,0
		40,0		23,2	23,8	24,1	71,5	78,4	80,1	46,5	39,6	37,9
		63,2		23,3	23,6	24,1	70,2	77,6	79,6	47,8	40,4	38,4

LIITE 1 (8/8)

Liite 1.8. Jokiosten Ojaisten hiesavalle vuosina 1980 (10 t/ha), 1995 (10 t/ha) ja 1998 (6 t/ha) levitetyn kalkin sekä vuosina 1980–1989 ja 1996 (10 *60 + 90, yht. 690 kg/ha) ja vuosittain sijoitetun fosforin vaikutus vilja- ja rypsisadon fosfori- ja typpi-pitoisuuteen ja fosforin ottoon. Kevään 1995 kalkitus annettiin vain kahdelle neljästä kerranteesta. □ = rypsin fosforipitoisuudet ovat keskiarvoissa mukana kahdella jaettuina.

Vuosi	Kasvi N-lann. Kg/ha	Ker- ran- ne	P-lannoit- us, kg/ha		Fosforipitoisuus, g/kg					Typpipitoisuus, g/kg				Fosforin otto, kg/ha			
			-80-96	Koev.	Kalkitus v.1980-98 (-95)		Kalkitus v.1980-98 (-95)			Kalkitus v.1980-98 (-95)				Kalkitus v.1980-98 (-95)			
					0	(10)	10+6	10+6(+10)	0	(10)	10+6	10+6(+10)	0	(10)	10+6	10+6(+10)	
1994	K.vehnä Satu	1-4	0	0	3,84	3,79			26,3	25,9			16,5	17,3			
			0	34	3,90	3,91			26,5	26,2			17,5	18,3			
	120 N	690	0	3,85	3,86			25,4	26,0			17,5	17,5				
		690	34	3,96	3,94			25,6	26,2			18,1	18,2				
1995	Ohra Artturi	1-4	0	0	4,44	4,66			17,7	19,8			15,4	16,4			
			0	33	4,46	4,56			18,6	18,7			16,1	16,9			
	120 N	690	0	4,52	4,52			17,9	18,4			14,8	17,3				
		690	33	4,51	4,56			17,3	17,6			15,5	18,1				
	3-4	0	0	4,40	4,72	4,42			16,2	19,6	19,8	17,5	12,7	18,5	15,3	13,7	
		0	33	4,40	4,58	4,31			17,9	20,9	18,8	17,3	14,7	18,8	15,8	13,3	
		690	0	4,45	4,53	4,55	4,31		17,3	17,1	18,8	18,2	11,7	13,4	19,6	15,8	
		690	33	4,48	4,52	4,63	4,52		16,4	18,4	18,2	17,7	12,8	13,1	18,9	18,0	
1996	S.vehnä Aura	1-4	0	0	3,85	3,89			17,9	18,0			21,0	21,3			
			0	15	3,80	3,84			17,7	18,0			22,3	22,1			
	120 N	690	0	3,81	3,81			17,3	17,7			20,6	22,9				
		690	15	3,85	3,87			17,4	17,9			22,0	21,9				
	3-4	0	0	3,79	3,87	3,80	3,73		17,7	18,0	18,1	18,7	19,1	23,0	20,5	20,0	
		0	15	3,70	3,75	3,71	3,74		17,8	18,2	18,3	18,1	21,6	22,5	21,1	21,1	
		690	0	3,74	3,76	3,81	3,86		17,3	18,1	18,3	18,8	18,7	20,8	21,9	21,1	
		690	15	3,75	3,70	3,85	3,83		17,7	17,9	18,4	18,6	21,6	21,4	22,8	21,8	
1997	K.rypsi Valo	1-4	0	0	8,85	8,77			32,4	32,4			16,0	15,6			
			0	18	8,92	8,83			32,7	32,4			16,5	16,3			
	120 N	690	0	8,88	8,90			32,4	31,4			15,6	17,2				
		690	18	8,99	8,89			32,5	32,2			16,6	17,3				
	3-4	0	0	8,96	8,75	8,87	8,79		31,0	33,8	32,8	32,3	15,0	15,9	14,4	14,8	
		0	18	8,97	8,75	8,82	8,93		32,7	33,0	32,3	32,5	16,5	18,0	15,7	15,4	
		690	0	9,03	8,84	8,93	8,99		32,1	33,1	32,4	34,2	14,4	15,7	18,2	17,2	
		690	18	9,04	8,99	8,85	9,92		31,6	33,6	33,2	33,5	15,5	16,4	17,7	19,1	
1998	K.rypsi Valo	1-4	0	0	8,28	8,18			36,6	36,6			8,3	8,3			
			0	18	8,43	8,32			36,3	38,3			8,6	8,9			
	120 N	690	0	8,29	8,21			34,2	37,1			7,9	8,5				
		690	18	8,29	8,30			33,1	38,0			8,3	8,7				
	3-4	0	0	8,25	8,26	8,07	8,19		36,6	36,8	35,8	36,1	8,2	7,3	7,9	7,3	
		0	18	8,38	8,29	8,31	8,10		36,1	36,4	35,4	35,4	8,8	8,1	9,0	7,6	
		690	0	8,07	8,09	8,10	8,33		35,4	36,0	36,4	36,8	7,8	8,4	8,7	8,6	
		690	18	8,12	8,12	8,15	8,15		36,0	35,8	36,4	36,4	8,4	9,1	9,3	9,5	
1994-1998□	121 N	1-4	0	0	4,14	4,16			26,2	26,4			15,4	15,8			
			0	24	4,17	4,18			26,2	26,2			16,2	16,5			
	3-4	690	0	4,15	4,15			25,8	25,9			15,3	16,5				
		690	24	4,19	4,19			25,7	26,0			16,1	16,9				
	3-4	0	0	4,12	4,14	4,15	4,08		25,5	26,8	26,4	26,0	14,2	16,1	15,1	14,6	
		0	24	4,13	4,12	4,15	4,09		26,3	27,0	26,1	25,8	15,7	16,9	15,9	15,1	
		690	0	4,12	4,12	4,15	4,14		25,4	25,8	26,5	26,9	13,9	15,0	17,1	16,0	
		690	24	4,15	4,14	4,18	4,17		25,3	26,1	26,5	26,5	15,2	15,5	17,3	17,3	

Liite 2.1. Viljan ja rypsin sadot (kg/ha) ja niiden laatu vuosien 1993 ja 1994 syysmuokkauksen eri syvyyksillä (12 cm jrsintä, 22 cm kyntö ja 32 cm syväkyntö, v. 1977 syksyllä 22 cm:n kynnön tilalla 35 cm:n syvämultaus) levitettäessä vuonna 1993 perus-lannoitteeksi fosforia 0 ja 200 kg/ha yhdessä kylvölannoituksessa sijoitetun fosforilannoituksen kanssa ja ilman. # Rypsilä hehtolitrapainon paikalla öljypitoisuus (%).

Vuosi	Kasvi(t)	P-lannoitus, kg/ha		Vilja/rypsisato			Hehtolitrapaino, kg#			1000 jyvän paino, g		
		1993	Koev:na	12	22/35	32	12	22/35	32	12	22/35	32
1994	Syysvehnä	0	0	3680	2650	3830	69,4	73,1	73,0	33,2	31,3	33,6
	Aura +	0	20	3840	2870	3900	68,0	72,3	72,5	34,3	31,4	34,7
	Ohra	200	0	3910	3200	4100	69,6	73,8	74,8	32,7	31,7	34,0
	Artturi	200	20	4000	3150	4240	69,0	73,0	73,3	33,2	31,2	34,3
1995	Kevätvehnä	0	0	4730	5070	4660	82,2	82,0	82,2	39,0	39,6	39,7
	Manu	0	33	4910	5100	4910	82,3	82,0	82,2	39,4	39,9	39,6
		200	0	4780	5170	4610	82,5	82,2	82,2	39,1	40,0	39,5
		200	33	4690	5010	4670	82,3	83,1	82,4	38,8	39,8	39,6
1996	Kevätrypsi#	0	0	1790	1690	1780	(47,4	46,7	47,6)	2,62	2,67	2,64
	Valo	0	31	1870	1800	1980	(47,8	46,1	47,9)	2,54	2,59	2,52
		200	0	1970	2000	1980	(48,0	47,4	48,4)	2,59	2,58	2,57
		200	31	1760	1840	1840	(47,7	46,8	48,0)	2,59	2,62	2,59
1997	Kevätvehnä	0	0	4190	4060	4470	75,6	75,2	75,8	31,3	31,7	31,9
	Mahti	0	17	4660	4530	4920	76,2	75,8	76,3	32,7	32,8	33,0
		200	0	4820	4550	4620	76,2	76,0	76,0	33,2	32,6	32,2
		200	17	4830	4580	4830	76,0	75,7	76,1	33,1	32,6	32,8
1998	Ohra	0	0	4140	4310	3890	62,7	62,6	62,6	42,1	41,3	41,3
	Saana	0	15	4440	4590	4490	63,1	62,6	62,9	42,0	40,3	41,4
		200	0	4610	4500	4180	62,7	62,5	62,9	41,8	40,4	41,5
		200	15	4420	4550	4450	63,3	63,0	63,5	41,8	40,9	41,8
Viljat keskimäärin (rypsi on mukana keski- sadoissa kaksinkertaisena)		0	0	4060	3900	4080	72,5	73,2	73,4	36,4	36,0	36,6
		0	23	4320	4140	4440	72,4	73,2	73,5	37,1	36,1	36,2
		200	0	4410	4280	4290	72,8	73,6	74,0	36,7	36,2	36,8
		200	23	4290	4190	4370	72,7	73,5	74,1	36,7	36,1	37,1

Liite 2.2. Siemensatojen kuiva-aineen fosforipitoisuus ja fosforin otto sekä pellon vuotuinen fosforitase vuosien 1993 ja 1994 syysmuokkauksen eri syvyyksillä (12 cm jyräntä, 22 cm kyntö ja 32 cm syväkyntö, v. 1997 syksyllä 22 cm:n kynnön tilalla 35 cm:n syvämultaus) levitettäessä vuonna 1993 peruslannoitteeksi fosforia 0 ja 200 kg/ha yhdessä vuosittain kylvölannoituksessa sijoitettuna fosforilannoituksen kanssa ja ilman.

Vuosi	Kasvi(t)	P-lannoitus, kg/ha		Sadon fosfori, g/kg			Fosforin otto, kg/ha			Fosforitase, kg/ha		
		1993	Koev:na	Muokkauksyyvyys, cm			Muokkauksyyvyys, cm			Muokkauksyyvyys, cm		
				12	22/35	32	12	22/35	32	12	22/35	32
1994	Syysvehnä	0	0	4,08	4,01	3,96	12,8	9,0	12,9	-12,8	-9,0	-12,9
	Aura+	0	20	4,16	3,93	3,85	13,6	9,6	12,8	6,4	10,4	7,2
	Ohra	200	0	4,19	4,02	4,05	13,9	10,9	14,1	186,1	189,1	185,9
	Artturi	200	20	4,08	4,11	4,05	13,9	11,0	14,6	206,1	209,0	205,4
1995	Kevätvehnä	0	0	3,91	3,93	4,01	15,3	17,0	15,9	-15,3	-17,0	-15,9
	Manu	0	33	3,90	3,90	4,06	16,3	16,9	16,9	16,7	16,1	16,1
		200	0	3,88	4,05	4,10	15,8	17,8	16,1	-15,8	-17,8	-16,1
		200	33	3,92	4,09	4,15	15,6	17,4	16,5	17,4	15,6	16,5
1996	Kevätrypsi	0	0	8,15	8,34	8,24	13,3	12,9	13,3	-13,3	-12,9	-13,3
	Valo	0	31	8,82	8,93	8,88	15,0	14,6	16,0	16,0	16,4	15,0
		200	0	9,08	8,88	9,15	16,3	16,2	16,5	-16,3	-16,2	-16,5
		200	31	9,08	8,98	9,15	14,5	15,0	15,3	16,5	16,0	15,7
1997	Kevätvehnä	0	0	4,29	4,42	4,51	15,3	15,3	17,1	-15,3	-15,3	-17,1
	Mahti	0	17	4,24	4,35	4,37	16,8	16,7	18,3	0,2	0,3	- 1,3
		200	0	4,31	4,42	4,54	17,7	17,1	17,8	-17,7	-17,7	-17,8
		200	17	4,38	4,44	4,47	18,0	17,3	18,4	- 1,0	- 0,3	- 1,4
1998	Ohra	0	0	3,45	3,44	3,39	12,1	12,6	11,2	-12,1	-12,6	-11,2
	Saana	0	15	3,47	3,46	3,34	13,1	13,5	12,8	1,9	1,5	2,2
		200	0	3,39	3,48	3,37	13,3	13,3	12,0	-13,3	-13,3	-12,0
		200	15	3,44	3,45	3,41	12,9	13,4	12,9	2,1	1,6	2,1
1994-1998		0		3,94	3,99	4,00	13,7	13,4	14,1	-13,7	-13,4	-14,1
		23,2		4,04	4,02	4,01	15,0	14,3	15,4	8,2	8,9	7,8
		40,0		4,06	4,08	4,13	15,4	15,1	15,3	24,6	24,9	24,7
		63,2		4,07	4,12	4,13	15,0	14,8	15,5	48,2	48,4	47,7

Vuosi	Kasvi(t)	P-lannoitus, kg/ha		Sadon tyyppi, g/kg			Typen otto, kg/ha			Typpitase, kg/ha		
		1993	Köev:na	12	22/35	32	12	22/35	32	12	22/35	32
1994	Syysvehnä	0	0	25,2	26,9	25,4	78	60	82	72	90	68
	Aura 150 N	0	20	24,7	26,7	25,6	80	64	85	70	86	65
	+ Ohra	200	0	24,5	26,6	25,3	81	72	88	69	78	62
	Artturi	200	20	24,5	26,5	24,6	82	70	88	68	80	62
1995	Kevätvehnä	0	0	25,3	25,1	25,6	102	111	99	18	9	21
	Manu 120 N	0	33	25,1	25,2	25,6	104	113	104	16	7	16
		200	0	24,2	24,8	24,8	99	113	94	21	7	26
		200	33	23,8	24,6	25,0	96	106	97	24	14	23
1996	Kevätrypsi	0	0	31,4	32,6	31,4	51	50	51	59	60	59
	Valo 110 N	0	31	30,8	32,7	31,1	52	53	56	58	57	54
		200	0	31,0	31,2	30,2	55	57	54	55	53	56
		200	31	30,9	31,8	30,4	49	53	51	61	57	59
1997	Kevätvehnä	0	0	22,2	22,2	21,4	79	77	81	31	33	29
	Mahti 110 N	0	17	21,4	22,0	21,4	85	85	90	25	25	20
		200	0	21,3	21,6	21,1	87	84	83	23	26	27
		200	17	21,4	21,6	21,0	88	84	86	22	26	24
1998	Ohra	0	0	16,2	16,5	15,9	57	61	53	43	39	47
	Saana 100 N	0	15	16,2	16,8	16,4	61	66	63	39	34	37
		200	0	16,2	16,7	15,9	64	64	57	36	36	43
		200	15	15,9	16,5	16,3	60	64	62	40	36	38
1991-1998	118 N	0		24,0	24,8	23,8	73,4	71,7	73,2	44,6	46,3	44,8
		23,2		23,6	24,8	23,9	76,6	76,0	79,6	41,4	42,0	38,4
		40,0		23,4	24,4	23,3	77,1	77,8	75,2	40,9	40,2	42,8
		63,2		23,4	24,2	23,4	75,1	75,4	76,9	42,9	42,6	

Liite 2.4. Viljan ja rypsin sadot (kg/ha) ja niiden fosforipitoisuus ja fosforin otto vuosien 1993 ja 1994 syysmuokkauksen eri syvyyksillä (12 cm jyrshintä, 22 cm kyntö ja 32 cm syväkyntö, v. 1977 syksyllä 22 cm:n kynnon tilalla 35 cm:n syvämultaus) ja eri määrillä vuonna 1993 levitettyä kalkkia annettaessa vuonna 1993 peruslannoitteeksi fosforia 0 ja 200 kg/ha yhdessä kylvölannoituksessa sijoitetun fosforilannoituksen kanssa ja ilman.

Vuosi	Kasvi(t)	P-lannoitus, kg/ha		Muokkaussyv. 12 cm Kalkkia, tn/ha			Muokkaussyv. 22/35 cm Kalkkia, tn/ha			Muokkaussyv. 32 cm Kalkkia, tn/ha		
		1993	Koev:na	0	6	15	0	10	24	0	15	36
Sato, kg/ha												
1997	Kevätvehnä Mahti	0	0	3940	4380	4240	3640	4150	4410	4120	4370	4930
		0	17	4610	4680	4700	4200	4460	4910	4760	4870	5140
		200	0	4510	4910	5040	4280	4540	4820	4290	4730	4840
		200	17	4600	4850	5050	4170	4620	4930	4640	4920	4940
		Keskimäärin		4410	4700	4760	4070	4440	4450	4450	4720	4960
1994-1998	Rypsin sato kaksinkertaisena	0	0	3960	4090	4140	3660	3910	4120	3860	4050	4330
		0	23	4220	4420	4320	4080	4010	4320	4330	4460	4520
		200	0	4160	4470	4600	4120	4280	4440	3990	4500	4380
		200	23	4040	4310	4510	3820	4390	4370	4230	4440	4450
		Keskimäärin		4100	4320	4390	3920	4150	4310	4100	4360	4420
Sadon fosforipitoisuus, g/kg												
1997	Kevätvehnä Mahti	0	0	4,33	4,35	4,20	4,39	4,41	4,48	4,40	4,68	4,45
		0	17	4,22	4,23	4,26	4,30	4,36	4,38	4,28	4,60	4,21
		200	0	4,40	4,34	4,20	4,32	4,45	4,49	4,66	4,39	4,56
		200	17	4,32	4,40	4,41	4,34	4,30	4,68	4,48	4,41	4,52
		Keskimäärin		4,32	4,33	4,27	4,34	4,38	4,51	4,46	4,52	4,44
1994-1998	Rypsin fosfor	0	0	3,97	3,98	3,87	3,95	3,97	4,07	3,96	4,03	4,00