



MTTK

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tiedote 17/87

RAILI JOKINEN ja HILKKA TÄHTINEN
Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto

**Karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden kupari-
pitoisuus ja sen vaikutus kauran kasvuun astia-
kokeessa**

**Maan kuparipitoisuuden ja happamuuden vaikutus
kuparilannoituksella saatuihin kauran satotulok-
siin**

**Maan pH-luvun ja kuparilannoituksen vaikutus
kauran hivenravinnepitoisuuksiin**

**Kaura- ja ohralajikkeiden herkkyys kuparin puut-
teelle ja eri kuparimäärillä saadut tulokset**

**Kuparilannoitelajien vertailu astiakokeessa
kauralla**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 17/87

RAILI JOKINEN ja HILKKA TÄHTINEN

	Sivut
Karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden kuparipitoisuus ja sen vaikutus kauran kasvuun astiakokeessa	1-17
Maan kuparipitoisuuden ja happamuuden vaikutus kuparilannoituksella saatuihin kauran satotuloksiin	18-37
Maan pH-luvun ja kuparilannoituksen vaikutus kauran hivenravinnepitoisuuksiin	38-47
Kaura- ja ohralajikkeiden herkkyys kuparin puutteelle ja eri kuparimäärillä saadut tulokset	48-62
Kuparilannoitelajien vertailu astiakokeessa kauralla	63-68

Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto
31600 JOKIOINEN
puh. 916-881 11

Jokioinen, 1987

ISSN 0359-7652

**KARKEIDEN KIVENNÄISMAIDEN JA TURVEMAIDEN KUPARIPITOISUUS JA
SEN VAIKUTUS KAURAN KASVUUN ASTIAKOKEESSA**

	Sivu
Sisällysluettelo	
1. TIIVISTELMÄ	1
2. JOHDANTO	2
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	3
4. TULOKSET	4
4.1. Maiden kuparipitoisuus	4
4.2. Kauran sato	7
4.3. Jyvien ja olkien kuparipitoisuus	9
4.4. Kauran kuparin otto	10
4.5. Maan kuparipitoisuus kokeen lopussa	13
5. TARKASTELU	14
6. KIRJALLISUUS	16

1. TIIVISTELMÄ

Astiakoetta varten kerättiin 45 kivennäismaata ja 32 turve-
maata, kustakin noin 200 litraa. Osa maaeristä otettiin pel-
loilta, joilla kuparin puute oli vaikeuttanut viljojen kas-
vua.

Maiden kuparipitoisuus määritettiin tuhkaksi poltetun maan
vetykloridiuutteesta (HCl-Cu) tai maata uutettiin happamalla
ammoniumasetaatti-EDTA:lla (EDTA-Cu). Viljavuuspalvelu Oy on
käyttänyt ensiksi mainittua menetelmää ennen vuotta 1986 ja
jälkimmäistä samasta vuodesta lähtien.

EDTA-Cu-pitoisuuden keskiarvo ($2,2 \pm 2,6$ mg/l maata) oli noin
puolet HCl-Cu-pitoisuudesta ($4,4 \pm 3,4$ mg/l). Vanhoja HCl-Cu-
pitoisuuksia ei kuitenkaan voida suoraan muuntaa uusiksi
EDTA-Cu-pitoisuuksiksi, koska muuntokerroin saattaa olla
jokaiselle maalajille erilainen. Tässä aineistossa oli ker-
roin karkeille kivennäismaille 0,44 ja turvemaille 0,63.
Kahden uuttomenetelmän välinen riippuvuus jäi epävarmaksi,
sillä kuparipitoisuuden vaihtelualue oli karkeilla kivennäis-
mailla (HCl-Cu 2,0-8,2 mg/l, EDTA-Cu 0,3-5,0 mg/l) huomatta-
vasti kapeampi kuin turvemaille (HCl-Cu 0,9-18,8 mg/l, EDTA-
Cu 0,3-13,6 mg/l).

Näytti siltä, että kriittinen EDTA-Cu-pitoisuuden alue olisi
1,5-2,0 mg/l välillä. Pienen kuparipitoisuuden lisäksi maan
korkea (yli 6,5) tai matala (alle 5,0) pH(H₂O)-luku lisännee
kuparilannoituksen tarvetta.

Alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävillä mailla kauran jyväsato jäi
alle 80 prosenttiin kokeessa saadusta suurimmasta sadosta.
Myös kasviaineksen kuparipitoisuuden ja satojen ottaman kupa-
rimäärän vaihtelut olivat tällä alueella huomattavat. Koko
aineistossa maan EDTA-Cu-pitoisuuden vaihtelut selittivät
25-45 % edellä mainittujen satotulosten muutoksista. Astiako-
keen tulokset eivät ehkä ole suoraan peltoviljelyyn sovellet-
tavia.

2. JOHDANTO

Suomessa kuparin niukkuus todettiin eräillä viljelymailla 1930-luvulla ja ensimmäiset kuparilannoituskokeet perustettiin 1939 (TAINIO 1963). Vuodesta 1945 lähtien perustettiin viljelijöiden pelloille huomattava määrä uusia kokeita. TAINIO (1955, 1960) julkaisi niistä muutamia tuloksia suomeksi. Lopullisen selvityksen kokeiden tuloksista teki TÄHTINEN (1971). Hän totesi, että vain maan kuparipitoisuudella oli merkitsevä negatiivinen vaikutus kuparilannoituksella (12 kg/ha Cu) saatuun viljojen jyväsadon lisäykseen. Se selitti noin 10 % sadonlisäyksen vaihteluista.

Eri puolilta maailmaa on saatavissa tietoja karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden muita maalajeja alhaisemmasta kuparipitoisuudesta (mm. BERROW ja REAVES 1985, KRUGER et al. 1985). Tämän vuoksi kuparilannoitusta koskevat tutkimukset on usein tehty näillä kahdella maalajiryhmällä.

LUNDBLADIN ym. (1949) mukaan maan kuparin kokonaismäärä ei ole luotettava kasveille käyttökelpoisen kuparin ilmaisija. Suomessa tuhkaksi poltetun maan suolahappouutteen (2 M HCl) kuparipitoisuus (KURKI 1963) oli pitkään lannoitussuositusten pohjana. Eloperäisillä mailla näin saatu kuparipitoisuus on lähes yhtä suuri kuin kuparin kokonaismäärä.

Kasveille käyttökelpoisen kuparin uuttamiseen maasta on käytetty useita eri uuttonesteitä esim. etyleenidiaminitetraetikkahappo, EDTA (VIRO 1955), dietyleenitriaminipentaetikkahappo, DTPA (LINDSAY ja NORVELL 1978), happaman (pH 4,65) ammoniumasetaatin ja 0,02 M EDTA:n seos (LAKANEN ja ERVIÖ 1971). Useissa tutkimuksissa on eri menetelmiä myös verrattu keskenään (esim. LAKANEN ja ERVIÖ 1971, HAYNES ja SWIFT 1983, MAKARIM ja COX 1983, NORVELL 1984, BEST ym. 1985, SIPPOLA ja ERVIÖ 1986). Kasveille käyttökelpoisen kuparin määrää maassa on arvioitu uuttokokeiden lisäksi astia- ja kenttäkokein.

Tämän työn tarkoituksena oli verrata kahta maan uuttomenetel-

mää kasveille käyttökelpoisen kuparin määrän ja kauran kuparilannoituksen tarpeen ilmaisijana astiakokeessa ilman kuparilannoitusta.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen maanäyteaineistoon kuului 32 turvemaata ja 45 karkeata kivennäismaata; kaikki ne olivat viljeltyjen maiden muokkauskerroksesta. Muutamat maat oli valittu tähän tutkimukseen sen perusteella, että niillä kuparin puute oli aikaisemmin rajoittanut kasvien kasvua.

Vuosina 1975-1978 tehtiin sarja yksivuotisia kokeita kauralla (Avena sativa, lajike Pendek), kasvualustana vuosittain noin 20 maata. Kosteat maat seulottiin 10 mm seulan läpi ja punnittiin 6 litran astioihin. Astiaan punnittu kostea maamäärä vastasi 450-1640 g ilma-kuivia turpeita ja 2500-4600 g karkeita kivennäismaita. Astioihin annettiin lannoitukseksi 1000 mg N (NH_4NO_3), 400 mg P ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 1000-1500 mg K (K_2SO_4) 200 mg Mg ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) sekä riittävät määrät B, Mn, Zn, Mo ja Fe. Kutakin maata oli kokeessa kolme astiaa. Kauran jyviä kylvettiin 25 kpl/astia eikä kasvustoja harvennettu. Kasveja kasvatettiin ulkona verkkohallissa, kunnes sato tuleentui. Jyvä- ja olkisato kuivattiin ja punnittiin erikseen.

Viisi grammaa kasviainesta kuivatettiin 2 h 105°C ja poltettiin tuhkaksi (450°C) kvartsimaljoissa, tuhka liuotettiin 10 ml:aan 4 M HCl, haihdutettiin kuiviin vesihauteella, liuotettiin uudelleen 2,5 ml:aan 2 M HCl ja suodatettiin. Suodatinpaperi poltosjäännöksineen poltettiin uudelleen (600°C), liuotettiin 2,5 ml:aan HF, haihdutettiin kuiviin hiekkahauteella ja liuotettiin 1 ml:aan 2 M HCl. Liuos suodatettiin samaan pulloon kuin aikaisempikin suodos ja pullo täytettiin vedellä 50 ml:ksi. Liuoksen kuparipitoisuus määritettiin atomiabsorptiospektrofotometrillä.

Alkuperäisistä maista otettiin analyysjä varten erät, jotka kuivattiin ilma-kuiviksi. Samoin kuivattiin kokeiden lopussa

otetut maanäytteet. Maista määritettiin happamaan ammoniumasettaattiin uuttuva kalsium ja pH vesisuspensiosta (v : v = 1 : 2,5) (VUORINEN ja MÄKITIE 1955).

Maan kupari uutettiin LAKASEN ja ERVIÖN (1971) esittämällä happamalla (pH 4,65) 0,5 M ammoniumasetatti + 0,02 M EDTA:-lla; uuttosuhde 1 : 10 (v : v) ja uuttoaika 1 h. Uutteen kuparipitoisuus määritettiin atomiabsorptiospektrofotometrillä. Alkuperäisistä maista kupari määritettiin myös KURJEN (1963) esittämällä menetelmällä. Maa poltettiin tuhkaksi (520 °C), tuhka uutettiin 2 M HCl ja suodatetun uutteen kuparipitoisuus määritettiin kuten edellä. Tässä raportissa edellisestä maan kuparipitoisuudesta on käytetty lyhennettä EDTA-Cu ja jälkimmäisestä HCl-Cu. Tulokset ilmoitetaan milligrammoina maalitraa kohti.

Sadon määrän sekä kasvi- ja maa-analyysien välisiä riippuvuuksia tutkittiin regressio- ja korrelaatioanalyysillä, joissa käytettiin lineaarisen mallin lisäksi muuttujien logaritmita ja neliöjuurimuunnosta.

4. TULOKSET

4.1. Maiden kuparipitoisuus

Alle 4 mg/l HCl-Cu:a sisältävät maat on Suomessa luokiteltu kuparilannoitusta tarvitseviksi. Tämän tutkimuksen näytteistä 30 karkeaa kivennäismaata ja 14 turvemaata kuuluivat tähän ryhmään (Taulukko 1). Kuuden turvemaan kuparipitoisuus oli yli 8 mg/l eikä kuparilannoitus ollut niille HCl-Cu-pitoisuuden perusteella tarpeen. Selvästi kalkituksen tarpeessa (pH(H₂O) alle 5,50) oli lähes koko turvemaiden aineisto ja noin kolmannes kivennäismaiden näytteistä.

Maiden EDTA-Cu-pitoisuuden keskiarvo (2,2[±]2,6 mg/l) oli noin puolet HCl-Cu-pitoisuuden keskiarvosta (4,4[±]3,4 mg/l). Näytteenottopaikkojen osittaisen valinnan vuoksi kuparipitoisuuksien vaihtelu oli karkeissa kivennäismaissa huomattavasti pienempi kuin turvemaissa (Taulukko 2).

Taulukko 1. Maanäytteiden lukumäärä eri pH(H₂O) ja HCl-Cu luokissa.

pH(H ₂ O)	Näytteiden lukumäärä HCl-Cu, mg/l maata								
	<4 kiv. turve		4-8 kiv. turve		<8 kiv. turve		Kaikki kiv. turve yht.		
-4,50		5		3		1		9	9
4,51-5,50	14	8	3	7		5	17	20	37
5,51-5,50	14	1	10	2			24	3	27
6,51-	2		2				4		4
Kaikki	30	14	15	12		6	45	32	77

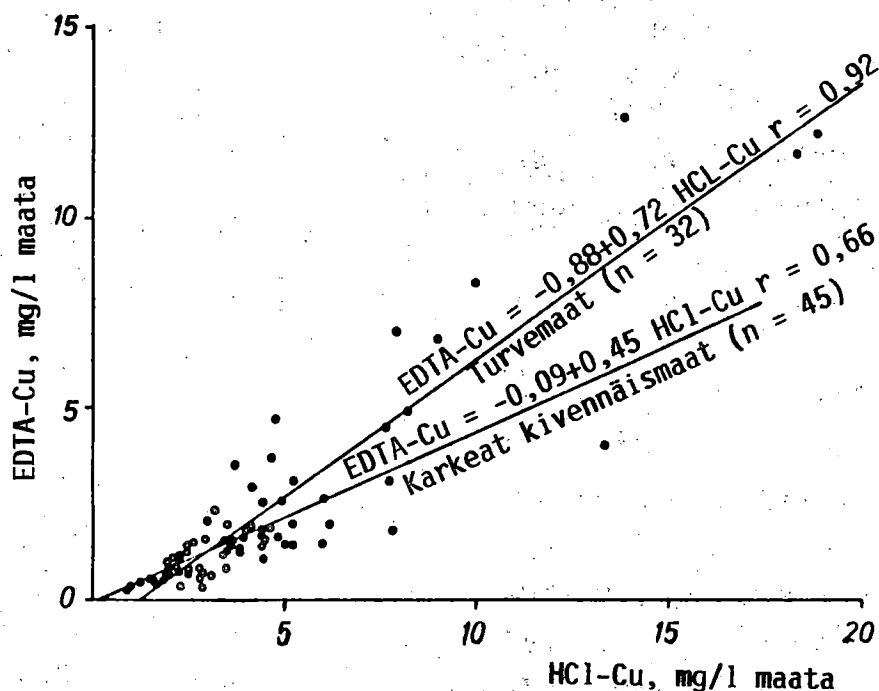
kiv. = karkeat kivennäismaat, turve = turvemaat

Taulukko 2. Maanäyteaineiston ominaisuuksien keskiarvo (\bar{x}), hajonta (s) ja vaihtelu.

	Karkeat kivennäismaat (n = 45)			Turvemaat (n = 32)		
	\bar{x}	s	vaihtelu	\bar{x}	s	vaihtelu
pH(H ₂ O)	5,6	±0,5	4,6- 6,8	4,9	±0,5	3,9- 6,0
Ca mg/l	924	±538	25-2550	1456	±854	300-3400
EDTA-Cu mg/l	1,54	±1,01	0,30- 5,0	3,11	±3,7	0,28-13,6
HCl-Cu mg/l	3,6	±1,5	2,0- 8,2	5,6	±4,7	0,9-18,8

Kummassakin maalajiryhmässä EDTA-Cu:n osuus HCl-Cu:sta oli keskimäärin lähes sama, karkeat kivennäismaat 42[±]18 % ja turvemaat 45[±]22 %. Kun EDTA-Cu oli alle 1 mg/l, sen osuus HCl-Cu:sta oli noin 30 %, välillä 1-2 mg/l EDTA-Cu:n osuus oli noin 35 % ja yli 2 mg/l EDTA-Cu-pitoisuuden noin 65 % HCl-Cu:sta (Kuva 1). Muutamissa turvemaiden näytteissä korkea EDTA-Cu-pitoisuus ja sen suuri osuus HCl-Cu:sta liittyivät toisiinsa. Jos maan kuparilannoituksen tarve arvioidaan vertaamalla EDTA-Cu- ja HCl-Cu-arvoja keskenään ja ottamalla

huomioon happaman ammoniumasetaatti-EDTA:n uuttoteho, kuparilannoitus näyttäisi olevan tarpeen alle 1,5 mg/l EDTA-Cu sisältäville maille.



Kuva 1. Maan kuparipitoisuuden määrittämenetelmien välinen korrelaatio karkeilla kivennäismailla (o) ja turvemailla (●).

EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetaatti-EDTA:han uut-
tuva kupari

HCl-Cu = tuhkauteen maan vetykloridiuutteen kupari

Viljelijöille suunnatut kuparilannoitussuositukset on Suomessa 1950-luvulta lähtien laadittu HCl-Cu:n perusteella. Tieteellisissä tutkimuksissa taas EDTA-Cu:ta on käytetty menestyksellä, ja vuodesta 1986 lähtien se on ollut myös neuvonnallisessa käytössä. Uuttomenetelmän vaihtamisen vuoksi saattaa ilmetä tarvetta muuntaa vanhat HCl-Cu-arvot uusiksi eli EDTA-Cu-arvoiksi, kunnes viljelijät ovat teettäneet uuden menetelmän mukaiset analyysit. Tämä melko pieni aineisto antoi seuraavat muuntokertoimet:

karkeat kivennäismaat	EDTA-Cu = 0,63 * HCl-Cu; $r^2 = 0,84$
turvemaat	EDTA-Cu = 0,44 * HCl-Cu; $r^2 = 0,45$
koko aineisto	EDTA-Cu = 0,61 * HCl-Cu; $r^2 = 0,69$

Tutkituille maalajiryhmille saatiin toisistaan poikkeavat kertoimet. Tämä saattaa osoittaa, että jokaiselle maalajille tarvitaan oma kertoimensa. Sen asian selvittäminen vaatii kuitenkin suuren aineiston.

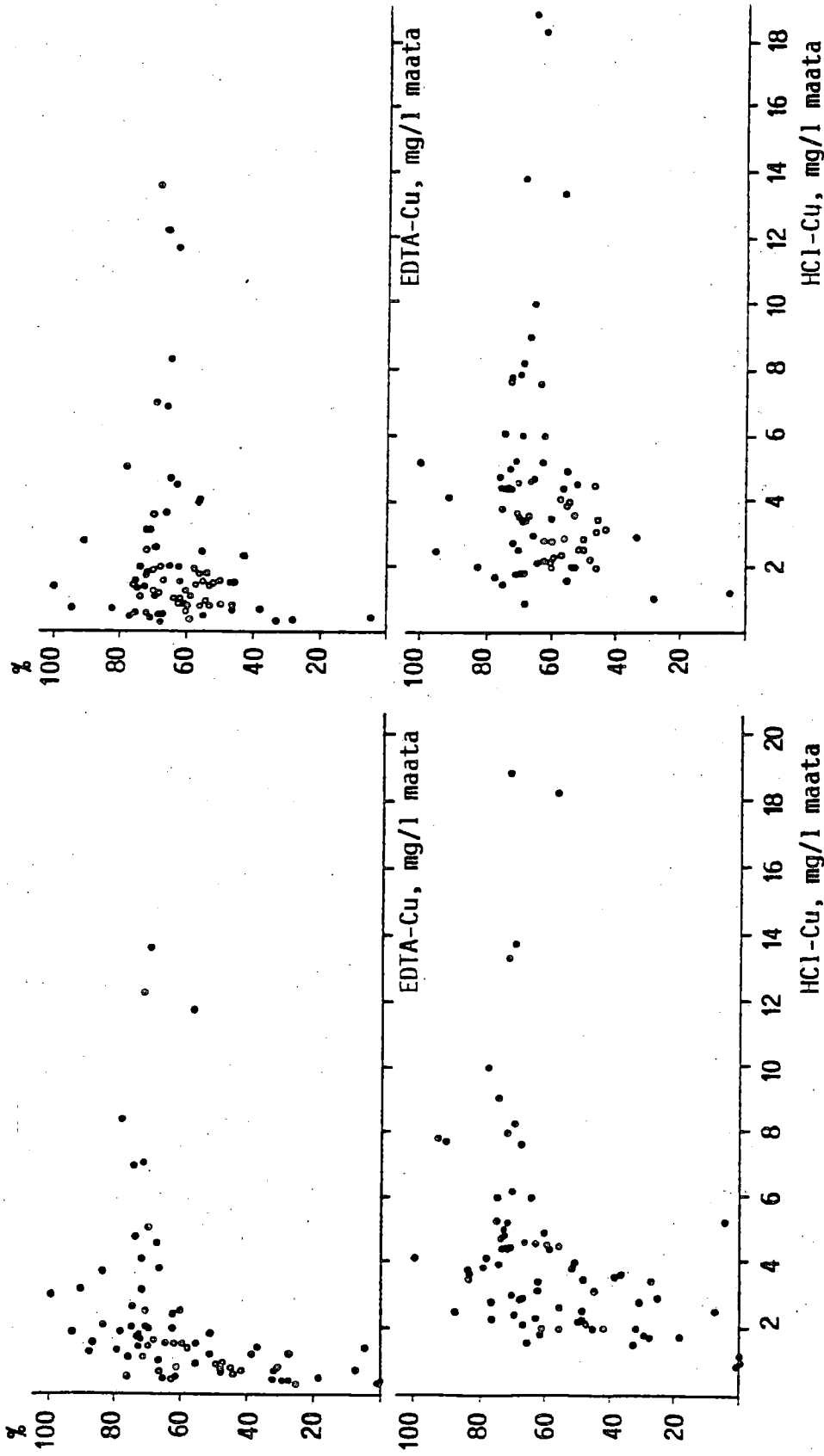
Tutkittujen maalajiryhmien $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ tai kalsiumpitoisuus poikkeavat jonkinverran toisistaan (Taulukko 2). Näiden ominaisuuksien ja EDTA-Cu-pitoisuuden välinen heikko vuorosuhde todettiin vain karkeissa kivennäismaissa ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$: $r = 0,21$, Ca mg/l: $r = 0,44^{**}$).

4.2. Kauran sato

Kauran jyväsato vaihteli karkeilla kivennäismailla 14,7 ja 58,5 g/astia välillä. Muutamilla turvemailloilla kuparin puute oli niin ankara, ettei jyväsatoa saatu lainkaan (Liitetaulukko I). Suurin turvemailta saatu jyväsato oli 46,3 g/astia. Olkisadon vaihtelu oli samoin laaja kummassakin maalajiryhmässä (karkeat kivennäismaat 24,7–67,7 g/astia, turvemaa 3,4–74,4 g/astia).

Maan pieni kuparipitoisuus ei aina rajoittanut kauran jyväsadon muodostumista, sillä esimerkiksi alle 1 mg/l EDTA-Cu sisältävillä mailloilla suhteellinen jyväsato vaihteli 0 ja 75 % välillä (Kuva 2). Suhteellinen sato = 100 (yksittäinen sato/suurin sato). Jyväsatoa ei saatu kuroista, jotka kasvoivat alle 0,5 mg/l EDTA-Cu tai alle 1,5 mg/l HCl-Cu sisältävillä turvemailloilla. Maan pieni kuparipitoisuus ja korkea tai alhainen $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -luku näyttivät yhdessä vaikeuttavan jyväsadon muodostumista. Esimerkiksi alle 40 % suurimmasta jyväsadosta saatiin mailloilla, joiden EDTA-Cu oli alle 1,5 mg/l ja $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ yli 6,5 (2 maata) tai alle 5,0 (11 maata). Suurimmat suhteelliset jyväsadot saatiin seitsemällä karkealla kivennäismaalla. Niiden EDTA-Cu-pitoisuus vaihteli 1,2 ja 3,6 mg/l välillä (HCl-Cu 2,4–8,8 mg/l). Turvemaiden laajalla EDTA-Cu-pitoisuuden alueella 1,3–13,6 mg/l kauran suhteelliset jyväsadot olivat 70–80 % kokeen suurimmasta jyväsadosta.

Maalajista riippumatta kaura tuotti jyviä enintään 50 % maksimisadosta silloin, kun HCl-Cu-pitoisuus oli alle 4 mg/l (yksi poikkeus: 3 % sato, HCl-Cu 5,3 mg/l). Jos EDTA-Cu oli



Kuva 2. Suhteellisen jyväsadon (% suurimmasta sadosta 58,5 g/ast) ja olkisaadon (% suurimmasta sadosta 74,4 g/ast) riippuvuus maan EDTA-Cu- ja HCl-Cu-pitoisuudesta. (o = kivennäismä, ● = turvemä).

Jyväsato, g/ast = 30,9 + 20,1 log EDTA-Cu	$r^2 = 0,34$
Jyväsato, g/ast = 19,0 + 22,8 log HCl-Cu	$r^2 = 0,29$
Olkisato, g/ast = 45,6 + 6,1 log EDTA-Cu	$r^2 = 0,05$
Olkisato, g/ast = 40,5 + 10,8 log HCl-Cu	$r^2 = 0,07$

alle 1,5 mg/l, suhteellinen jyväsato oli poikkeuksetta sama kuin edellä. Mainitut maan kuparipitoisuuden arvot sopinevat kuparilannoitustarpeen kriittisiksi rajoiksi, kun jyväsatoa pidetään lannoitustarpeen mittana.

Absoluuttisen jyväsadon (g/astia) ja maan kuparipitoisuuden (log x) välinen vuorosuhde oli yhtä kiinteä, olipa kysymyksessä EDTA-Cu ($r = 0,58^{**}$) tai HCl-Cu ($r = 0,54^{**}$). Maan kuparipitoisuus selitti noin 30 % jyväsadon vaihteluista.

Suuri olkisato ja pieni jyväsato liittyivät usein toisiinsa. Kuitenkin kaksi turvemaata sisälsi niin vähän kauralle käyttökelpoista kuparia, että olkisatokin jäi pieneksi (Kuva 2). Maan kuparipitoisuuden ja olkisadon välinen vuorosuhde oli löyhä kuparin uuttomenetelmästä riippumatta.

4.3. Jyvien ja olkien kuparipitoisuus

Kauran jyvien keskimääräinen kuparipitoisuus oli lähes sama kummallakin maalajilla, olkien kuparipitoisuus oli turvemailla hieman korkeampi kuin karkeilla kivennäismailla (Taulukko 3). Turvemaan satojen kuparipitoisuuden vaihtelu oli karkeita kivennäismaita laajempi, mikä lienee seuraus maan kuparipitoisuuksien vaihtelun laajuudesta.

Taulukko 3. Kauran jyvien ja olkien kuparipitoisuus ($\mu\text{g/g}$ kuiva-ainetta) sekä kuparin otto $\mu\text{g/astia}$ (keskiarvo = \bar{x} , hajonta = s ja vaihtelu).

	Karkeat kivennäismaat (n = 45)			Turvemaat (n = 32)		
	\bar{x}	s	vaihtelu	\bar{x}	s	vaihtelu
Cu $\mu\text{g/g}$ DM						
jyvät	2,2	+0,7	1,0-3,8	2,1	+0,9	0,7-4,1
oljet	2,1	+0,4	1,3-3,0	2,4	+0,6	1,2-4,4
Cu $\mu\text{g/astia}$						
jyvät	82	+38	18-176	77	+49	6-188
oljet	95	+27	41-183	117	+37	13-224
jyvät + oljet	177	+58	64-336	187	+78	13-369

Turvemaiden EDTA-Cu-pitoisuuden nousu lisäsi kauran jyvien ($r = 0,84 **$) ja olkien ($r = 0,56**$) kuparipitoisuutta merkitsevästi, karkeilla kivennäismailla ei todettu vastaavaa (Kuva 3). Koko aineistossa kasviaineksen kuparipitoisuuden ja maan EDTA-Cu-pitoisuuden välillä vallitsi hieman kiinteämpi vuorosuhde (jyvät: $r = 0,61 **$, oljet: $r = 0,50**$) kuin vastaavasti maan HCl-Cu-pitoisuuden välillä (jyvät: $r = 0,27*$, oljet $r = 0,41**$).

Kuparilannoitustarpeen arviointiin kasviaineksen kuparipitoisuuden perusteella ei näyttänyt olevan kovin paljon mahdollisuuksia. Ainoan viitteen antoivat alle $1,5 \mu\text{g/g}$ kuparia sisältäneet jyväsadot, jotka saatiin kuudelta karkealta kivennäismaalta ja viideltä turvemaalta. Maan EDTA-Cu-pitoisuus vaihteli niissä $0,4-1,8 \text{ mg/l}$ ja $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ oli yleensä alle 5,0 (4 turvemaata) tai yli 6,0 (1 turve- ja 5 kivennäismaata). Kauran jyväsato oli näillä samoilla mailla 40 % maksimisadosta.

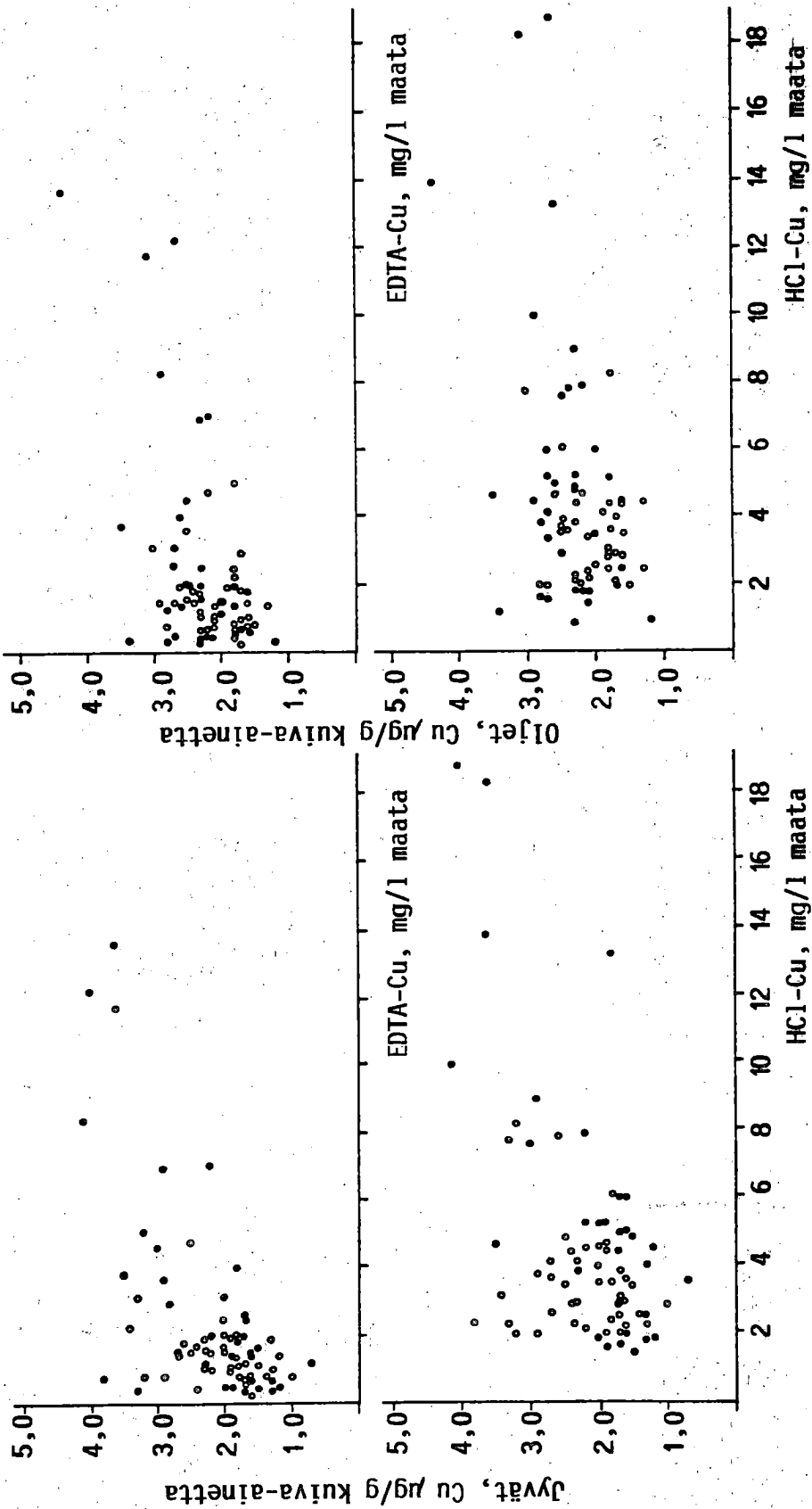
Sadon määrän ja sen kuparipitoisuuden välinen heikko lineaarinen korrelaatio oli jyvissä positiivinen ($r = 0,44**$) ja oljissa negatiivinen ($r = -0,33**$). Tulos viittaa siihen, että kauran kuparinsaannin lisääntymisen edullinen vaikutus kohdistui ennen muuta jyviin.

4.4. Kauran kuparin otto

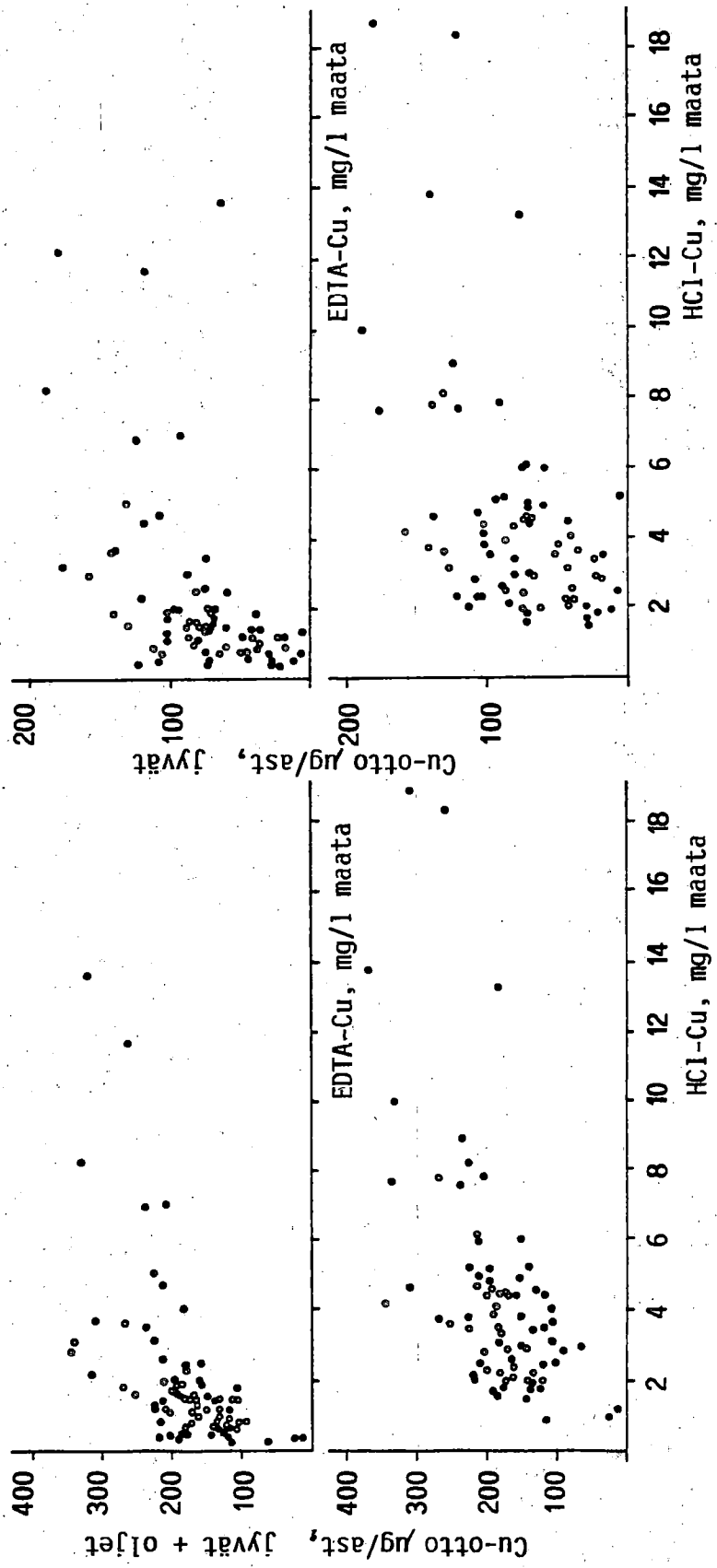
Kummallakin maalajilla olkien kuparin otto ylitti jyvien kuparin oton (Taulukko 3). Turvemailla koko sadon (jyvät + oljet) ja olkiasadon kuparin otto näyttivät kumpikin olevan suuremmat kuin karkeilla kivennäismailla.

Koko sadon ottaman kuparimäärän ja maan kuparipitoisuuden (neliöjuurimuunnos) välillä vallitseva vuorosuhde oli lähes riippumaton uuttomenetelmästä (EDTA-Cu: $r = 0,69**$, HCl-Cu: $r = 0,62**$, Kuva 4). Samantapainen riippuvuus todettiin myös jyvien kuparin oton ja maan kuparipitoisuuksien välillä (EDTA-Cu: $r = 0,51**$, HCl-Cu: $r = 0,54**$).

Kauran jyväsadon ottama kuparimäärä oli suurempi kuin olkien 19 karkealla kivennäismaalla ja neljällä turvemaalla (Liitetaulukko I). Maan EDTA-Cu-pitoisuus vaihteli näillä 23 maalla



Kuva 3. Kauran jyvien ja olkien kuparipitoisuuden ($\mu\text{g/g}$ kuiva-ainetta) riippuvuus maan EDTA-Cu- ja HCl-Cu-pitoisuudesta. (o = kivennäismää, ● = turvemaa).



Kuva 4. Kauran jyvien ja koko sadon kuparin otton ($\mu\text{g}/\text{ast}$) riippuvuus maan EDTA-Cu- ja HCl-Cu-pitoisuudesta. (o = kivennäismää, ● = turvemää)

Jyvät, Cu-otto $\mu\text{g}/\text{ast}$ = 58,6 + 14,2 $\sqrt{\text{EDTA-Cu}}$	$r^2 = 0,26$
Jyvät, Cu-otto $\mu\text{g}/\text{ast}$ = 8,5 + 35,1 $\sqrt{\text{HCl-Cu}}$	$r^2 = 0,29$
Jyvät, Cu-otto $\mu\text{g}/\text{ast}$ = 88,8 + 69,5 $\sqrt{\text{EDTA-Cu}}$	$r^2 = 0,48$
+	
Oljet, Cu-otto $\mu\text{g}/\text{ast}$ = 56,6 + 62,2 $\sqrt{\text{HCl-Cu}}$	$r^2 = 0,38$

0,4-5,0 mg/l ja vain kuusi niistä sisälsi EDTA-Cu vähemmän kuin 1 mg/l. Maan EDTA-Cu-pitoisuuden ja kuparin oton suhdeluvun jyvät/oljet välillä vallitsi lähes olematon vuorosuhde ($r = 0,27^*$). Jyväsadon ja koko sadon ottamat kuparimäärät näyttivät viittaavan siihen, että alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävät maat ovat osittain kuparilannoituksen tarpeessa. Pienimmät sadon ottamat kuparimäärät (jyvät: alle 50 µg/astia, jyvät + oljet: alle 150 µg/astia) saatiin alle edellä mainitun EDTA-Cu-pitoisuuden. Maan HCl-Cu-pitoisuuden perusteella ei voitu tehdä päätelmiä.

4.5. Maan kuparipitoisuus kokeen lopussa

Sadonkorjuun jälkeen kokeista otetuista maanäytteistä tehtiin vain EDTA-Cu-määritys 32 karkean kivennäismaan ja 16 turvemaan astioista. Tuloksia verrattiin samoista maista ennen kokeen perustamista saatuihin arvoihin.

Kokeen aikana turvemaiden kuparipitoisuus pieneni enemmän kuin karkeiden kivennäismaiden, vaikka muutos oli merkitsevää vain jälkimmäisissä maissa (Taulukko 4). Muutaman alle 1 mg/l EDTA-Cu sisältävän maan pitoisuus pysyi lähes muuttumattomana siitä huolimatta, että kauran jyväsato ja koko sadon kuparin otto olivat korkeat.

Taulukko 4. Keskimääräinen EDTA-Cu-pitoisuuden muutos kokeen aikana karkeissa kivennäismaissa ($n = 32$) ja turvemaissa ($n = 16$).

	Cu mg/l maata			
	Karkeat kivennäismaat		Turvemaat	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kokeen alussa	1,47	+1,07	1,86	+2,37
Kokeen lopussa	1,32	+0,98	1,60	+1,85
Muutos	0,28*		0,39	
Muutos, % alkuarvosta	19		21	

* Merkitsevää $P = 0,05$ (t-testi)

5. TARKASTELU

Tutkimusta varten hankittiin 45 karkeaa kivennäismaata ja 32 turvemaata. Osa niistä valittiin siksi, että kuparin puute oli aikaisemmin rajoittanut kasvien kasvua ao. pellolla. Sen vuoksi kummankin maalajiryhmän keskimääräinen EDTA-Cu-pitoisuus ja HCl-Cu-pitoisuus olivat pienemmät kuin samoissa suomalaisissa viljelymaissa (SIPPOLA ja TARES 1978, KURKI 1982).

Hivenravinteiden uuttoon maasta käytetään yleisesti kelatoivia aineita, EDTA tai DTPA. HAYNES ja SWIFT (1983) totesivat, että LINDSAYn ja NORVELLIN (1978) DTPA-menetelmä sopii vain lähes neutraaleille maille. Suomessa viljelymaat ovat kuitenkin lähes poikkeuksetta happamia, minkä vuoksi LAKASEN ja ERVIÖN (1971) kehittämä EDTA:lla täydennetty hapen (4,65) ammoniumasetaatti osoittautui SILLANPÄÄN (1982) tutkimusten perusteella sopivaksi.

EDTA-Cu-pitoisuuden muutokset selittivät noin 30 % kauran jyväsadon, noin 35 % jyvien kuparipitoisuuden, noin 25 % jyvien kuparin oton ja noin 45 % koko sadon kuparin oton vaihteluista. Vastaavasti HCl-Cu-pitoisuuden muutokset selittivät noin 30 %, 7 %, 30 % ja 35 % edellä mainittujen satotietojen vaihteluista. Astiakokeen tulokset viittaavat siihen, että maan EDTA-Cu-pitoisuus sopii jonkin verran HCl-Cu-pitoisuutta paremmin kuparilannoitustarpeen arvioimiseen. Lisäksi EDTA-Cu-määritys sopii hyvin rutiinianalyysien menetelmäksi.

Maan EDTA-Cu-pitoisuuden kriittinen alue on SILLANPÄÄN (1982) mukaan alle 1 mg/l maata, mikäli maan hiilipitoisuuden aiheuttama korjaus on otettu huomioon. Jos korjausta ei tehdä, hieman korkeammat kriittisen pitoisuuden arvot lienevät paikallaan. Tässä tutkimuksessa kauran jyvien kuparipitoisuus ja kuparin otto antoivat viitteitä, että kuparilannoitus olisi tarpeen alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävillä maille. Jyväsato taas puolsi kriittiseksi rajaksi 1,5 mg/l. Viljelijöille annettavat kuparilannoitussuosituksot laaditaan Suomessa edellisen raja-arvon perusteella (ANON. 1986).

SIPPOLA ja ERVIÖ (1986) tutkivat astiakokeissa maan kuparin uuttomenetelmiä ja raiheinän kuparin ottoa. Heidän tuloksensa EDTA-Cu:n ja HCl-Cu:n osalta ovat samansuuntaisia kuin tässä

tutkimuksessa kauralla saadut. Astiakokeessa raiheinä ja kaura kykenevät kumpikin ottamaan maan vaikeasti uuttuvia ravin-
nevaroja. Tämä näytti koskevan myös kauran kuparinottoa.
Pienillä maan kuparipitoisuuksilla (alle 1 mg/l EDTA-Cu) ei
ehkä saada pelloilla yhtä usein hyviä satoja kuin tässä as-
tiakokeessa, minkä vuoksi 2 mg/l EDTA-Cu saattaa olla pelto-
viljelyyn soveltuva maan kuparipitoisuuden kriittinen arvo.

SCHARRER ja SCHAUMLÖFFEL (1960) ja TÄHTINEN (1978) esittivät,
että kuparin puutteessa kauran olkisadon ottama kuparimäärä
on suurempi kuin jyväsadon ottama. Riittävää kuparin saantia
osoittaisi siis kuparin oton suhdeluvun jyvät/oljet yli yhden
olevat arvot. Tässä aineistossa olisi edellisen perusteella
kauran kuparin saanti ollut riittävä neljällä turvemaalla,
joiden EDTA-Cu-pitoisuus oli 4,5 ja 12,2 mg/l välillä, sa-
moin kuin 0,4-5,0 mg/l sisältävällä 19 karkealla kivennäis-
maalla. Toisaalta esimerkiksi turvemaiden EDTA-Cu-pitoisuu-
det 7,0 ja 11,7 mg/l sekä kivennäismaiden 2,5 ja 2,9 mg/l
olisivat liian pienet. Kuparin oton jakautuminen enimmiltään
jyvien osalle ei näyttänyt tässä tutkimuksessa osoittavan
riittävää kuparin saantia.

Kauran jyväsato, jyvien kuparipitoisuus ja kuparin otto muut-
tuivat maan EDTA-Cu-pitoisuuden vaihtelun mukaan turvemaissa
selvemmin kuin karkeissa kivennäismaissa, osittain ehkä tur-
vemaiden kuparipitoisuuden laajan vaihteluvälin vuoksi. Maa-
lajien välisen eron totesivat myös ERVIÖ ja SIPPOLA (1986)
tutkiessaan raiheinän kuparipitoisuutta.

6. KIRJALLISUUS

- ANON. 1986. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 64 p. Helsinki.
- BERROW, M. L. & REAVES, G. A. 1985. Extractable copper concentrations in Scottish soils. *J. Soil Sci.* 36: 31-43.
- BEST, E. K., MANNING, G. K. & GRUNDON, N. J. 1985. The ability of several soil extracts to identify copper responsive wheat soils. *Aust. J. Exp. Agric.* 25: 863-868.
- ERVIÖ, R. & SIPPOLA, J. 1986. Micronutrient uptake of ryegrass in different soils in a pot experiment. *Trans. 13th Congr. Int. Soc. Soil Sci.* 3: 728-729.
- EZEKIEL, M. & FOX, K. A. 1961. *Methods of correlation and regression analysis.* 548 p. New York.
- HAYNES, R. J. & SWIFT, R. J. 1983. An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrients in moderately acid soils. *Plant and Soil* 74: 111-122.
- KRUGER, G. A., KARAMANOS, R. E. & SINGH, J. P. 1985. The copper fertility of Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 65: 89-99.
- KURKI, M. 1963. Suomen peltojen viljavuudesta. Referat: Über die Fruchtbarkeit des finnischen Ackerbodens auf Grund der in Jahren 1955-1960 durchgeführten Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen. 107 p. Helsinki.
- KURKI, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955-1980. 181 p. Helsinki.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agric. Fenn.* 123: 223-232.
- LINDSAY, W. L. & NORVELL, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zink, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
- LUNDBLAD, K., SVANBERG, O. & EKMAN, P. 1949. The availability and fixation of copper in Swedish soils. *Plant and Soil* 1: 277-302.
- MAKARIM, A. K. & COX, F. R. 1983. Evaluation of the need for copper with several soil extractants. *Agron. J.* 75: 493-496.

- NORVELL, W. A. 1984. Comparison of chelating agents as extractants for metals in diverse soil materials. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48: 1285-1292.
- SCHARRER, K. & SCHAUMLÖFFEL, E. 1960. Über die Kupferaufnahme durch Sommergetreide auf Kupfermangelböden. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* 89: 1-17.
- SILLANPÄÄ, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: A global study. *FAO Soils Bull.* 48. 444 p. Rome.
- SIPPOLA, J. & ERVIÖ, R. 1986. Comparison of some soil testing methods for micronutrients. *Trans. 13th Congr. Int. Soc. Soil Sci.* 3: 972-973.
- & TARES, T. 1978. Soluble content of minerals in cultivated soils. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20: 11-25.
- TAINIO, A. 1955. Niittonurmen kupari- ja boorilannoituksen tarpeesta. Referat: Über den Bedarf der grasfelder an Kupfer- und Bördüngung. *Maatal. ja Koetoim.* 9: 58-66.
- 1960. Maan kuparipitoisuus ja kuparilannoituksen vaikutus. *Koetoim. ja Käyt.* 17: 3.
- 1963. Kuparilannoitteista - niiden käytöstä ja merkityksestä. *Leipä Leveämmäksi 1963*, 2: 1-7.
- TÄHTINEN, H. 1971. Copper content of the soil and the effect of copper fertilization. *Acta Agric. Fenn.* 123: 136-142.
- 1978. Determining of sensitivity of cereal varieties to copper deficiency in a pot experiment. *Ann. Agric. Fenn.* 17: 147-151.
- VIRO, P. J. 1955. Use of ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis II. Determination of soil fertility. *Soil Sci.* 80: 69-74.
- VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeol. Publ.* 63: 1-44, 6 soil maps.

Liitetaulukko I. Maaerien pH(H₂O), Ca-, EDTA-Cu- ja HCl-Cu-pitoisuus (mg/l maata) sekä astiakokeessa kauralla saadut jyvä- ja olkisadot (g/astia), niiden kuparipitoisuus (µg/g kuiva-ainetta) sekä satojen ottama kuparimäärä (µg/astia).

Maa n:o	Maa-laji	pH (H ₂ O)	Ca	EDTA-Cu mg/l maata	HCl-Cu	Sato g/astia		Cu µg/g		Cu-otto µg/astia		
						Jyvät	Oljet	Jyvät	Oljet	Jyvät	Oljet	Jyvät/Oljet
ELOPERÄISET MAAT												
1	Ct	4,50	750	0,28	0,9	0,2	50,6	-	2,26	-	115	
2	htCt	4,85	1450	0,49	1,5	18,9	56,2	1,45	2,06	27	116	0,2
3	Ct	4,30	550	0,44	1,8	12,7	52,9	1,25	2,29	21	120	0,2
4	Ct	4,25	550	8,30	10,0	45,7	48,1	4,10	2,94	188	140	1,3
5	Ct	4,70	880	0,35	1,7	16,2	57,0	1,66	2,80	27	160	0,2
6	Ct	4,90	1070	13,63	13,8	40,7	50,6	3,63	4,44	145	224	0,6
7	htCt	5,70	2800	2,59	6,0	43,7	51,6	1,74	2,67	75	135	0,6
8	Ct	5,45	1500	6,85	9,0	43,7	49,6	2,85	2,25	124	112	1,1
9	Ct	5,95	2450	1,24	3,5	22,6	51,6	0,74	1,95	17	101	0,2
10	Ct	4,60	1200	1,47	6,0	37,7	46,1	1,58	1,99	60	91	0,7
11	Ct	4,40	850	0,46	1,8	36,0	50,2	1,95	2,08	72	104	0,7
12	htCt	5,50	1470	3,06	5,2	41,7	53,0	1,95	2,65	87	138	0,6
13	Ct	5,35	2950	1,96	5,2	43,9	46,2	2,15	2,25	93	102	0,9
14	Ct	4,45	600	4,54	7,6	39,6	47,4	3,00	2,51	118	120	1,0
15	Ct	4,50	550	3,69	4,6	39,0	49,1	3,54	3,45	139	170	0,8
16	Ct	5,55	2750	1,37	5,2	2,8	74,4	1,85	1,79	5	132	0,0
17	Ct	5,05	1620	1,32	3,8	46,3	55,4	2,26	2,77	102	153	0,7
18	Ct	5,95	3400	2,53	4,9	35,2	41,0	1,73	2,32	61	95	0,6
19	Ct	4,75	820	0,48	1,6	38,5	41,2	1,86	2,74	71	113	0,6
20	Ct	4,60	300	4,04	13,3	41,8	41,3	1,78	2,57	76	106	0,7
21	Ct	4,35	2000	1,43	5,0	44,0	53,8	1,63	2,62	71	141	0,5
22	Ct	5,10	1970	12,18	18,8	41,3	49,5	3,97	2,67	180	132	1,4
23	Ct	5,10	1880	11,70	18,3	32,9	46,6	3,63	3,06	119	142	0,8
50	Mm	5,25	1100	7,00	7,9	41,6	51,1	2,23	2,19	93	112	0,8
74	Ct	5,50	1700	1,79	4,4	42,2	53,3	1,68	1,63	71	87	0,8
75	Ct	4,75	2050	1,59	4,8	42,6	55,7	1,54	2,25	70	124	0,5
78	Ct	4,90	1320	0,66	2,5	4,3	70,5	1,27	1,63	6	114	0,1
79	Ct	4,85	3000	0,48	1,8	10,8	51,0	1,20	2,19	13	111	0,1
82	Ct	5,00	820	0,65	2,0	18,6	61,1	1,61	1,74	30	107	0,3
83	Ct	5,30	1020	2,01	3,0	41,2	48,7	1,72	1,80	71	88	0,8
85	CSt	4,05	420	0,37	1,0	0,0	21,0	-	1,19	-	25	
87	LCT	3,85	780	0,43	1,2	0,0	3,4	-	4,06	-	13	

Maa- n:o	Maa- laji	pH (H ₂ O)	Ca	EDTA-Cu mg/l maata	HCl-Cu	Sato g/astia		Cu µg/g		Cu-otto µg/astia		
						Jyvät	Oljet	Jyvät	Oljet	Jyvät	Oljet	Jyvät/
KARKEAT KIVENNAISMAAT												
28	hsHht	5,95	1020	1,53	4,5	34,9	38,4	1,95	1,60	68	61	1,1
29	KHt	5,15	100	0,37	2,3	36,8	44,0	3,31	2,17	122	95	1,3
30	Hht	6,30	1450	1,92	4,1	45,8	42,8	2,25	1,94	103	83	1,2
31	hsHht	5,50	1560	5,00	8,2	40,7	50,6	3,24	1,82	131	92	1,4
33	KHt	5,85	1000	0,70	2,9	39,1	41,7	1,67	1,80	65	76	0,9
34	KHt	5,70	820	1,70	4,4	42,8	42,0	2,39	2,30	102	97	1,1
35	Hht	5,85	1080	1,99	6,1	41,0	55,3	1,76	2,52	73	139	0,5
39	KHt	6,60	2000	0,80	2,8	18,1	46,7	0,99	1,62	18	75	0,2
40	Hht	6,70	2550	1,19	3,4	15,8	51,3	1,49	2,14	24	109	0,2
41	Hht	5,70	1100	1,51	3,6	48,8	50,1	2,69	2,41	131	120	1,1
42	KHt	5,05	320	1,96	3,5	48,9	50,3	1,98	2,52	97	127	0,8
43	KHt	5,30	620	0,77	2,5	28,2	36,9	1,35	1,76	38	65	0,5
44	KHt	6,75	1650	2,86	4,1	58,5	67,7	2,71	2,71	158	183	0,9
45	KHt	6,15	1100	1,45	2,6	32,6	38,4	2,66	1,98	89	76	1,2
46	Hht	6,50	1130	0,60	3,1	26,1	34,3	1,68	1,79	44	62	0,7
47	Hht	5,65	450	1,49	3,4	36,2	33,9	2,51	2,74	90	92	1,0
48	KHt	6,00	1150	1,37	4,4	34,5	56,2	1,17	1,31	41	73	0,6
49	KHt	6,60	1650	1,90	4,6	36,7	52,0	1,92	2,60	71	121	0,6
51	KHt	5,25	780	0,77	3,5	28,4	44,2	1,76	1,64	50	73	0,7
52	skHt	5,10	980	1,77	7,8	54,2	53,4	2,61	2,41	141	129	1,1
53	KHt	4,95	30	0,30	2,9	14,7	24,7	1,56	1,66	23	41	0,6
54	sHs	5,45	1200	3,08	7,7	52,9	53,0	3,34	3,02	176	160	1,1
55	KHt	4,75	750	0,52	2,8	44,7	53,6	2,40	1,76	109	94	1,2
56	KHt	5,25	220	0,73	2,3	28,3	28,3	3,76	2,36	106	73	1,5
57	KHt	6,10	900	1,02	2,2	27,6	46,0	1,30	2,13	36	98	0,4
58	KHt	5,70	1300	1,61	3,9	43,2	40,8	2,01	2,51	86	102	0,8
59	Hht	6,10	1030	3,57	3,7	48,9	51,8	2,89	2,47	141	127	1,1
60	KHt	5,55	350	1,52	4,5	32,5	34,3	2,23	2,85	73	98	0,7
61	KHt	6,15	950	0,83	2,2	28,9	44,7	1,60	2,05	45	91	0,5
62	KHt	5,05	200	0,80	2,0	26,5	34,5	2,85	2,80	75	96	0,8
63	hsHht	4,95	450	1,13	2,3	44,6	44,0	2,30	2,26	102	99	1,0
64	Hht	5,70	1180	1,38	2,4	40,7	42,8	1,82	2,05	74	88	0,8
65	KHt	4,95	400	0,71	2,0	24,2	44,9	1,70	2,21	41	99	0,4
66	KHt	5,50	880	1,55	2,9	39,7	36,9	2,25	2,51	81	88	0,9
67	KHt	6,00	1030	1,18	3,8	30,0	44,5	1,66	2,26	49	100	0,5
69	Hht	6,00	950	1,12	4,4	41,8	54,9	1,91	1,64	80	89	0,9
70	KHt	5,75	1150	2,53	4,4	41,3	54,2	1,95	1,82	81	98	0,8
71	KHt	5,80	250	2,32	3,1	36,6	32,3	3,35	1,77	121	57	2,1
72	KHt	5,25	500	1,17	2,5	51,3	51,9	1,70	2,34	86	122	0,7
73	KHt	5,70	530	0,98	2,1	39,0	47,4	2,17	1,66	84	79	1,1
77	KHt	5,75	980	1,39	3,6	23,6	39,5	1,55	1,77	37	70	0,5
80	KHt	4,55	540	0,79	2,0	35,5	39,6	3,17	2,66	112	105	1,1
84	KHt	6,25	1340	1,75	4,0	29,9	40,0	1,30	1,69	39	68	0,6
86	KHt	5,10	150	0,89	2,0	32,9	40,2	1,85	1,47	61	58	1,1
88	HsS	5,65	1850	4,71	4,7	43,1	48,6	2,51	2,19	107	107	1,0

MAAN KUPARIPITOISUUDEN JA HAPPAMUUDEN VAIKUTUS KUPARILANNOITUKSELLE SAATUIHIN KAURAN SATOTULOSSIIN

	Sivu
Sisällysluettelo	
1. TIIVISTELMÄ	18
2. JOHDANTO	19
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	19
4. TULOKSET	20
4.1. Kuparilannoitus ilman kalkitusta	20
4.2. Kalkitus ilman kuparilannoitusta	26
4.3. Kalkitus ja kuparilannoitus	30
5. TARKASTELU	34
6. KIRJALLISUUS	36

1. TIIVISTELMÄ

Kuparilannoituksella (25 mg/ast Cu, noin 10 kg/ha Cu, kuparisulfaattina) saadun kauran jyvä- ja olkisadon, kuparipitoisuuden ja kuparin oton riippuvuutta maan kuparipitoisuudesta ja happamuudesta tutkittiin astiakokeessa 45 karkealla kivennäismaalla ja 32 turvemaalla. Happamien maiden pH-lukua kohotettiin yhdellä tai useammalla eri kalkkimäärällä. Muutaman maan happamuutta lisättiin kahdella määrällä rikkihappoa.

Maan EDTA-Cu-pitoisuuden vaihtelut ($\log x$) selittivät noin 30 % ja HCl-Cu-pitoisuuden vaihtelut ($\log x$) noin 10 % kuparilannoituksella saadusta jyväsadon lisäyksestä. Lannoituksella aiheutettu jyvien kuparin oton muutoksen riippuvuus maan EDTA-Cu-pitoisuudesta ($r = -0,66^{**}$) oli hieman kiinteämpi kuin riippuvuus HCl-Cu-pitoisuudesta ($r = -0,56^{**}$). EDTA-Cu-pitoisuuden kriittinen raja näytti olevan 1,5 - 2,0 mg/l vaiheilla, sillä kuparilannoituksen vaikutus kauran sätotuloksiin oli selvin tämän rajan alapuolella. Niukkakuparisilta turvemailta saatiin kuparilannoituksella suurimmat kauran jyväsadon lisäykset. Kauran koko sato otti keskimäärin 0,4 % lannoituksena annetusta kuparista.

Maan pH-luvun kohottaminen yksinään lisäsi kuudella maalla kauran jyväsatoa merkitsevästi, mahdollisesti kauran juuriston parantuneiden kasvuolojen vuoksi, sillä maiden pH oli alle 5. Kalkituksella oli negatiivinen vaikutus kauran jyväsatoon 15 maalla, joiden pH oli yli 5. Maan kuparin muuttuminen kauralle osittain käyttökelttomaksi näytti olevan voimakkainta pH 6 yläpuolella.

Kuparilannoituksella saatiin parhaat tulokset happamilla tai liikaa kalkituilla mailla. Korkeassa pH:ssa lannoituksena lisätty kuparikaan ei ollut samassa määrin kauralle käyttökelpoista kuin pH 6 alapuolella.

Rikkihappoa lisäämällä aiheutettu maan pH-luvun aleneminen 6,8:sta 6,2:een lisäsi merkitsevästi jyväsatoa ja sadon mukana poistuneen kuparin määrää sekä kohotti jyvien kuparipitoisuutta.

2. JOHDANTO

Maan ravinnepitoisuuden kohotessa lannoituksen edullinen vaikutus sadon määrään ja ravinnepitoisuuteen vähenee. Suurilla ravinnemäärillä sillä on jopa haitallinen vaikutus. TÄHTISEN (1971) mukaan kuparilannoituksella saatu viljojen jyväsadon lisäys oli suurin silloin, kun maan tuhkauutteen kuparipitoisuus oli alle 4 mg/l. Jo yksinomaan maan uuttuvan kuparipitoisuuden kohoaminen yli 4 mg/l (HCl-Cu) tai 2 mg/l (EDTA-Cu) vähensi kauran jyvä- ja olkisatojen vaihteluita (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987).

Viljoilla kuparilannoituksen edullinen vaikutus on ilmennyt pääasiassa jyväsadon lisääntymisenä (CALDWELL 1971, HARRY ja GRAHAM 1981, KARAMANOS ym. 1985). Olkisadon muutokset ovat olleet vähäiset tai olkisato on pienentynyt ja samalla olkien osuus koko sadosta laskenut (THIEL 1972).

Kuparin sorptio maassa ja sen riippuvuus maan pH-luvusta, orgaanisen aineksen määrästä, kationinvaihtokapasiteetista, Al- tai Fe-oksidiin määräästä on vaikuttanut maan kuparin ja lannoituksena lisätyn kuparin käyttökelpoisuuteen kasville (McBRIDE ja BLASIAK 1979, KUO ja BAKER 1980, CAVALLARO ja McBRIDE 1984).

Tämän astiakokeen tavoitteena oli verrata kuparilannoituksella saatujen kauran satotulosten perusteella maan EDTA-Cu- ja HCl-Cu-pitoisuutta kasville käyttökelpoisen kuparin ilmaistuna sekä maan pH-luvun vaikutusta kauran satotuloksiin ilman kuparilannoitusta tai kuparisulfaattilannoituksen saaneissa maissa.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kauran (Avena sativa, cult. Pendek) kasvualustana astiakokeessa oli 45 karkeaa kivennäismaata ja 32 turvemaata. Maiden keskimääräinen pH(H₂O) oli 5,4_{+0,7} (vaihtelu 3,9-6,8), tuhkauutteen kuparipitoisuus HCl-Cu 4,4_{+3,4} mg/l (vaihtelu 0,9-18,8 mg/l maata) ja happaman ammoniumasettaatti-EDTA:han uuttuva kuparimäärä EDTA-Cu 2,18_{+2,60} mg/l (vaihtelu 0,28-13,60 mg/l maata). Eri maalajiryhmien ominaisuudet on esitet-

ty tutkimuksen ensimmäisessä osassa (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987). Samasta tutkimusraportista ilmenevät myös maa- ja kas-
vianalyysien menetelmät sekä astiakokeiden perustaminen ja
hoidon yksityiskohdat.

Tätä tutkimusta varten jokaista maata kalkittiin CaCO_3 :lla
(lab. reag.). Kalkin määrät vaihtelivat 2 g ja 48 g välillä
maaerän pH-luvun mukaan. Tarkoituksena oli kohottaa maiden
 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -lukua pyrkimättä mihinkään tiettyyn tavoitearvoon.
Myös kalkitustasojen lukumäärä vaihteli. Seitsemällä maalla
oli kalkitsemtomman lisäksi yksi kalkkimäärä, sillä maiden
pH-luku oli kuusi tai sen yli. Kahdelle turvemaalle, joista
toisen $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ oli 5,9 ja toisen 4,4, annettiin neljä eri
kalkkimäärää. Yleisimmin kalkitustasoja oli kolme. Kuparilan-
noitus 25 mg/ast Cu kuparisulfaattina, annettiin kaikille
maalle sekä kalkitsemtomalle että kalkitulle osalle. Kalkit
ja kuparilannoite sekoitettiin maahan muun lannoituksen yh-
teydessä. Kolmeen maahan, joiden $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ oli 6,8, lisättiin
kalkin asemesta 0,5 M H_2SO_4 40 ml ja 80 ml. Kaikki käsittelyt
toistettiin kolmesti.

Tulosten luotettavuus tutkittiin varianssianalyysillä, jossa
variaation lähteiksi otettiin kalkitus, kuparilannoitus ja
niiden yhteisvaikutus. Käsittelyiden väliset erot ($P = 0,05$)
testattiin Tukey'n testillä (STEEL ja TORRIE 1960). Sadon
ominaisuuksien ja maan ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia
tutkittiin lineaarisen, logaritmissen ja neliöjuurimallin
mukaisilla regressio- ja korrelaatioanalyysillä. Parhaimman
selittävyysasteen antaneen mallin tulokset esitetään.

4. TULOKSET

4.1. Kuparilannoitus ilman kalkitusta

Koko aineiston mukaan kuparilannoituksella saatu absoluutti-
nen (g/ast.) tai suhteellinen (% kokeen suurimmasta) jyväsä-
don muutos oli positiivinen (Taulukko 1). Muutamalla yksit-
täisellä maalla kuparilannoitus hieman pienensi jyväsatoa
(Liitetaulukko II).

Taulukko 1. Kuparilannoituksen (25 mg/ast Cu) aiheuttama kauran jyvä- ja olkisadon, kuparipitoisuuden ja kuparin oton muutokset ilman kalkitusta (\bar{x} = keskiarvo, s = hajonta).

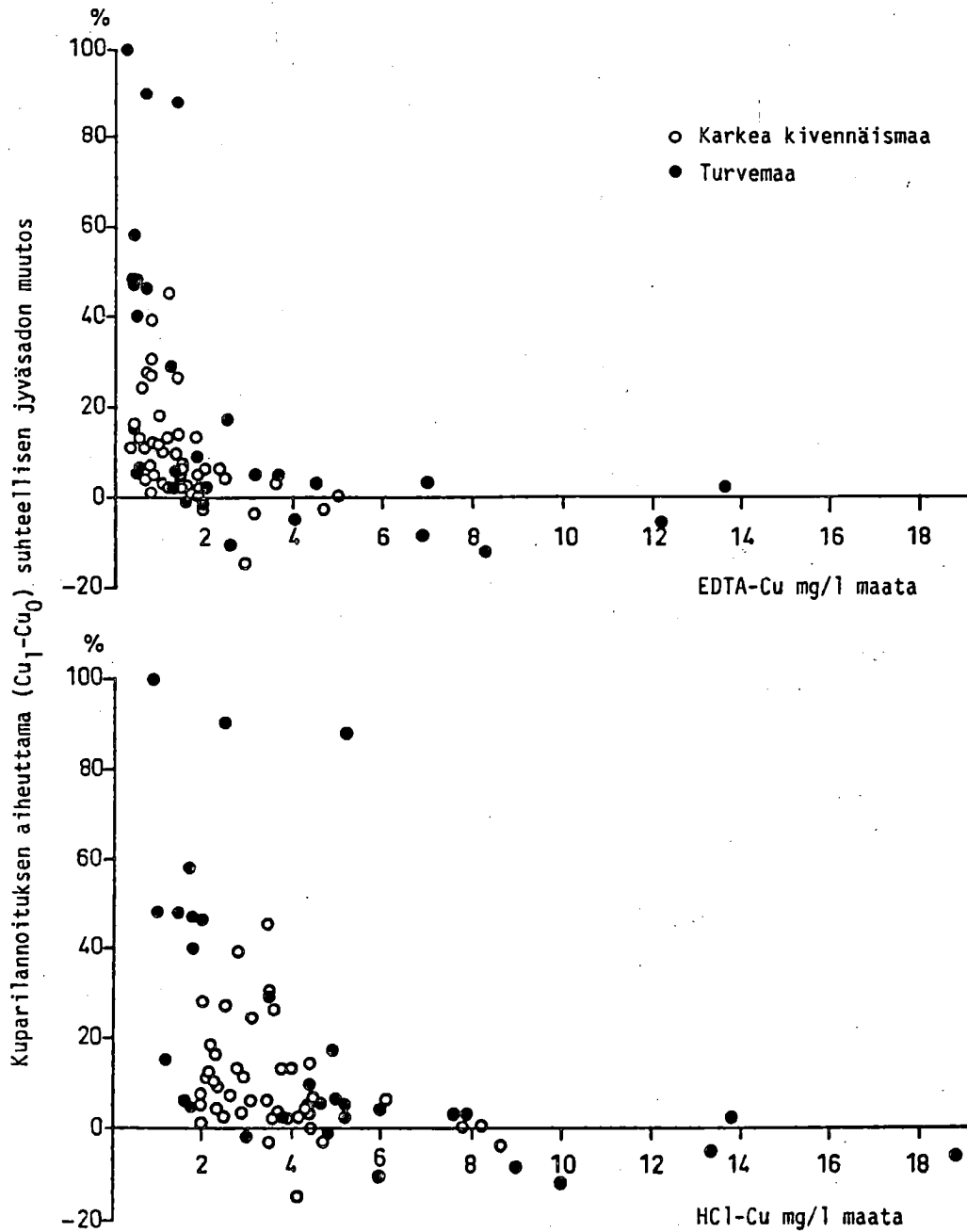
	Ilman kuparia		Muutos $Cu_1 - Cu_0$		vaihtelu	%
	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
Jyväsato, g/ast	34,0	+13,1	6,3	+10,2	-6,9 - 46,2	19
Jyväsato, % max			14	+22	-11 - 100	
Olkisato, g/ast	46,5	+10,3	-1,1	+6,3	-19,3 - 27,4	2
Jyvät, Cu mg/kg	2,2	+0,7	1,5	+1,1	-0,2 - 7,1	68
Oljet, Cu mg/kg	2,1	+0,4	0,9	+0,8	0,1 - 5,4	43
Jyvät, Cu μ g/ast	82	+38	73	+47	-9 - 232	89
Oljet, Cu μ g/ast	95	+27	39	+37	-6 - 209	41
Koko sato, Cu μ g/ast	177	+58	112	+75	20 - 441	63

Laskennallisesti arvioitu lannoitekuparin otto:

Koko sato 0,45 \pm 0,30 %
 Jyväsato 0,29 \pm 0,19 %

Maan EDTA-Cu-pitoisuuden (log x) ja kuparilannoituksella saadun jyväsadon lisäyksen välinen korrelaatio oli kiinteämpi ($r = 0,56^{**}$) kuin vastaava HCl-Cu-pitoisuuden ja sadonliisäyksen välinen ($r = 0,13$, Kuva 1). Maan pH(H_2O)-luvun ottamisella toiseksi selittäväksi muuttujaksi ei voitu parantaa selittävyysastetta.

Kuparilannoitus tuotti pienimmät jyväsadon lisäykset turve- mailla (0,3 \pm 2,6 g/ast, n = 9) pH(H_2O)-alueella 5,0-5,5 ja karkeilla kivennäismailla (3,2 \pm 4,0 g/ast, n = 30) pH(H_2O)-alueella 5,0-5,6. Kummallakin maalajilla pH-luvun muuttuminen edellä mainitusta suuntaan tai toiseen kohotti kuparilannoituksella saatua jyväsadon lisäystä.



Kuva 1. Maan uuttuvan kuparipitoisuuden vaikutus kuparilannoituksella (25 mg/ast Cu) saatuun kauran jyväsadon suhteelliseen muutokseen (Cu_1-Cu_0). Suurin sadonlisäys = 100. EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetaatti-EDTA:han uuttuva Cu, HCl-Cu = tuhkaksi poltetun maan HCl-uute.

$$\begin{aligned} \text{Sadonlisäys g/ast} &= 5,5-10,7 \cdot \log \text{ EDTA-Cu}; r^2 = 0,28 \\ \text{"} &= 10,3-11,4 \cdot \log \text{ HCl-Cu}; r^2 = 0,12 \end{aligned}$$

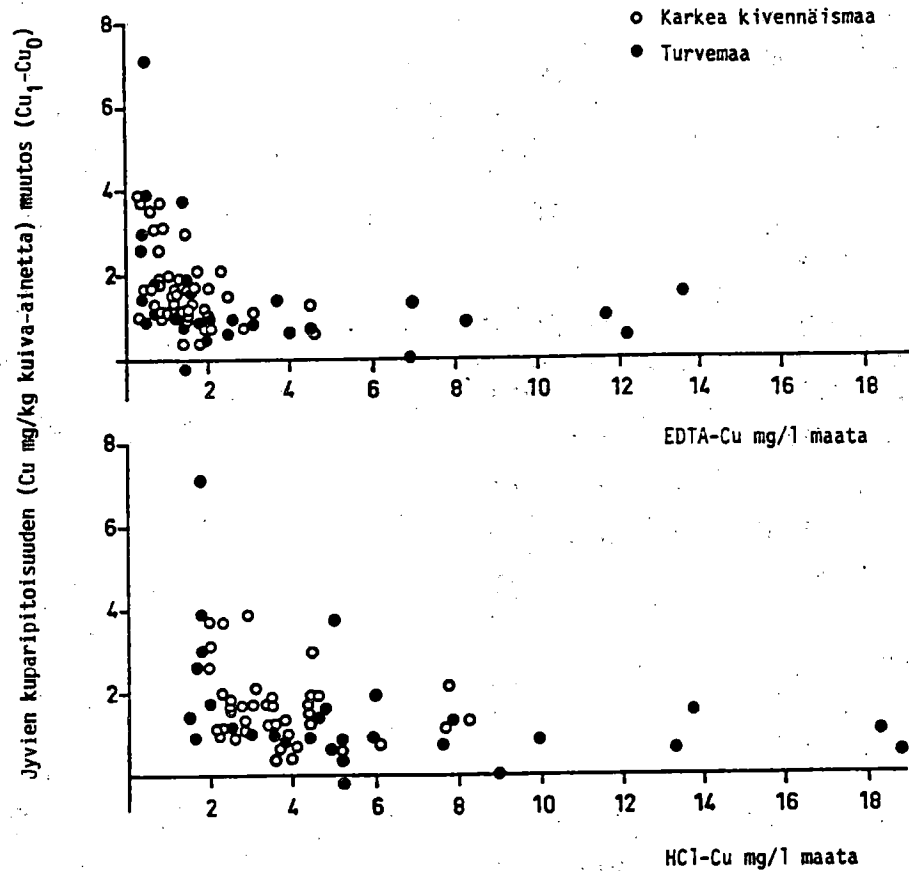
Kaikilla kivennäismailla kuparilannoituksella saatiin merkittävästi pienemmät jyväsadon lisäykset (4,4+5,3 g/ast) kuin turvemaidilla (9,2+14,2 g/ast). Alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävillä mailla jyväsadon lisäykset olivat vastaavasti 5,3+5,1 g/ast ja 15,6+15,1 g/ast. Kun kuparilannoituksella saatu suhteellinen sadonlisäys oli yli 36 % (keskiarvo + keskihajonta), maat sisälsivät alle 1,5 mg/l EDTA-Cu (Kuva 1). Lisäksi turvemaat olivat happamia (8 maata, pH(H₂O) alle 5) ja kivennäismaat lähes neutraaleja (2 maata, pH(H₂O) yli 6,5).

Alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävillä mailla kuparilannoitus lisäsi lähes poikkeuksetta jyväsatoa, sen sijaan mainitun pitoisuuden yläpuolella kuparilannoituksen vaikutus jyväsatoon oli epävarma (Kuva 1). HCl-Cu-pitoisuuden raja-arvo 4 mg/l ei näyttänyt olevan yhtä hyvä kuparilannoituksen tarpeen ilmaisin kuin 2 mg/l EDTA-Cu, sillä esim. 5,2 mg/l HCl-Cu sisältävällä maalla saatu suhteellinen sadonlisäys oli 88 %.

Kauran olkisato väheni kuparilannoituksella vain vähän (Taulukko 1), eikä maalajien välillä ollut merkittävää eroa. Maalajien väliset erot olivat lähes olemattomat alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävilläkin mailla. Koko aineistossa sadon muutokset vaihtelivat kuitenkin turvemaidilla (-19,3 ja 27,4 g/ast välillä) laajemmalla alueella kuin kivennäismailla (-14,1 ja 3,3 g/ast välillä).

Kuparilannoituksen aiheuttama jyvien ja olkien kuparipitoisuuden nousu olivat kumpikin erittäin merkittäviä (Taulukko 1). Jyvien kuparipitoisuuden nousu oli riippumaton maalajista (Kuva 2). Olkien kuparipitoisuus sensijaan nousi kivennäismailla (1,1+1,1 mg/kg) jonkin verran enemmän kuin turvemaidilla (0,8+0,5 mg/kg). Alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävillä mailla jyvien kuparipitoisuuden nousu (1,8+1,2 mg/kg) oli suurempi kuin muilla mailla (1,0+0,5 mg/kg), samoin myös olkien kuparipitoisuuden nousu (1,0+0,9 mg/kg ja 0,7+0,4 mg/kg).

Maan EDTA-Cu-pitoisuuden (log x) ja jyvien kuparipitoisuuden nousun välinen negatiivinen korrelaatio ($r = -0,47^{**}$) oli kiinteämpi kuin vastaava vuorosuhde HCl-Cu-pitoisuuteen ($r = -0,30$, Kuva 2).



Kuva 2. Maan uuttuvan kuparipitoisuuden vaikutus kuparilannoituksella saatuun kauran jyvien kuparipitoisuuden (mg/kg) muutokseen ($Cu_1 - Cu_0$). EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetatti-EDTA:han uuttuva Cu, HCl-Cu = tuhkaksi poltetun maan HCl-uute.

$$Cu \text{ mg/kg} = 1,67 - 0,23 \cdot \sqrt{\text{EDTA-Cu}}; r^2 = 0,17$$

$$Cu \text{ " } = 2,96 - 0,68 \cdot \sqrt{\text{HCl-Cu}}; r^2 = 0,13$$

Kuparilannoitus lisäsi kauran kuparin ottoa merkitsevästi (Taulukko 1). Jyvien kuparin oton lisäys oli riippumaton maalajista. Olkien kuparien oton lisäys oli turvemilla ($48 \pm 50 \mu\text{g/ast}$) merkitsevästi suurempi kuin kivennäismilla ($32 \pm 23 \mu\text{g/ast}$).

Kuparin otton lisäys osoittaa myös lannoituksena annetun kuparin näennäistä hyväksikäyttöä. Ensimmäisen vuoden koko sato otti $4,5 \pm 3,0$ promillea lannoituksena annetusta kuparista ja jyväsato $2,8 \pm 1,9$ promillea.

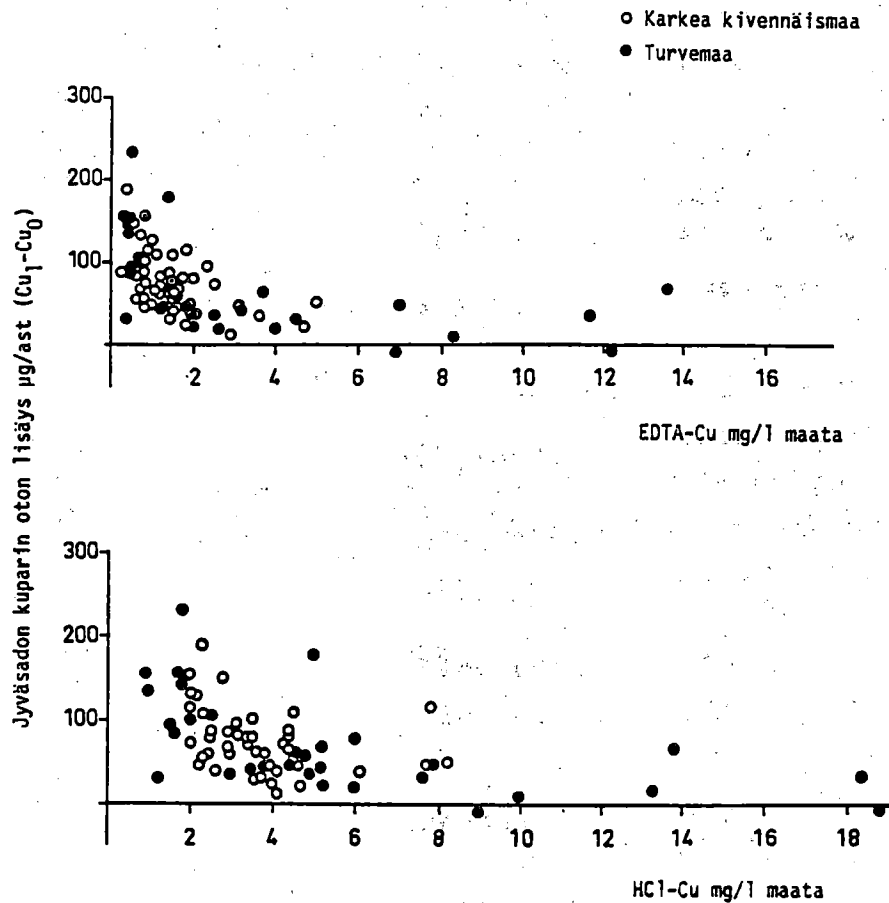
Alle 2 mg/l EDTA-Cu sisältävillä mailla kuparilannoitus lisäsi jyvien kuparin ottoa keskimäärin 87 ± 46 µg/ast ja muilla mailla 36 ± 26 µg/ast (Kuva 3). Suurimmat jyväsadon kuparin otton lisäykset saatiin alle 0,5 mg/l EDTA-Cu sisältävillä turvemailla, joiden pH(H₂O) oli alle 5. Kahdella turvemailla (pH(H₂O) 5,45 ja 5,10) kuparilannoitus vähensi jyväsadon kuparin ottoa. Korkea maan EDTA-Cu-pitoisuus ei estänyt kuparilannoituksen positiivista vaikutusta jyvien kuparin ottoon, kun maan pH(H₂O) oli lähellä viittä (kaksi turvemaata).

Kuparilannoituksen tuottama jyvien kuparin otton lisäys oli hieman selvemässä vuorosuhteessa maan EDTA-Cu-pitoisuuteen ($r = -0,66^{**}$, log x) kuin HCl-Cu-pitoisuuteen ($r = -0,55^{**}$, Kuva 3). Maan pH-luvun kohotessa lannoituksena annetun kuparin otto väheni ($r = -0,40^{**}$). EDTA-Cu-pitoisuuden (log x) ja pH-luvun vaihtelut selittivät yhdessä 52 % kuparilannoituksella saadun jyvien kuparinoton vaihteluista ($r_{y.12} = 0,72^{**}$).

Sadonkorjuun jälkeen maista tehtiin EDTA-Cu-määritykset 16 turvemaasta ja 32 karkeasta kivennäismaasta. Kuparilannoitus kohotti ($Cu_1 - Cu_0$) turvemaiden uuttuvaa kuparipitoisuutta ($5,8 \pm 0,8$ mg/l:lla) merkitsevästi enemmän kuin karkeiden kivennäismaiden ($4,4 \pm 0,8$ mg/l:lla). Kuitenkin kivennäismailla pitoisuuden nousu vaihteli ($2,53 - 6,46$ mg/l) enemmän kuin turvemailla ($3,83 - 6,87$ mg/l).

Lannoituksena annettu kuparimäärä 25 mg/ast Cu vastaa noin 5 mg/l maata. Osalla turvemaista lannoituksen vaikutus maan kuparipitoisuuteen oli suurempi kuin annettu kuparimäärä. Toisaalta osalla maita EDTA-Cu-pitoisuus pieneni enemmän kuin sadon ottaman kuparimäärän perusteella voisi olettaa.

Maan EDTA-Cu-pitoisuuden nousu ei ollut selvässä vuorosuhteessa lannoittamattoman maan vastaavaan pitoisuuteen tai pH-lukuun.



Kuva 3. Maan uuttuvan kuparipitoisuuden vaikutus kuparilannoituksella saatuun kauran jyvien kuparin oton ($\mu\text{g}/\text{ast}$) muutokseen ($\text{Cu}_1 - \text{Cu}_0$). EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetatti-EDTA:han uuttuva Cu, HCl-Cu = tuhkaksi poltetun maan HCl-uute.

$$\text{Cu } \mu\text{g}/\text{ast} = 86,2 - 35,4 \cdot \log \text{ EDTA-Cu}; r^2 = 0,43$$

$$\text{Cu } " = 129,9 - 43,8 \cdot \log \text{ HCl-Cu}; r^2 = 0,31$$

4.2. Kalkitus ilman kuparilannoitusta

Kalkitus ilman kuparilannoitusta aiheutti kauran jyväsatoon merkitsevän positiivisen tai negatiivisen muutoksen 21 maalla. Maan $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -luvun kohoamisen myötä sato väheni seitsemällä kivennäismaalla ja kahdeksalla turvemaalla, joiden EDTA-Cu-pitoisuus oli useimmiten alle 1 mg/l (Kuva 4, muutama tulos). Neljässä turvemaassa oli EDTA-Cu 1,5 ja 2,5 mg/l välillä. Olkisato näytti useimmiten lisääntyvän, kun jyväsato väheni.

Kuudella erittäin happamalla maalla jyväsato lisääntyi pH-luvun kohoamisen myötä (Kuva 5). Suurimmat sadon lisäykset olivat 155 % ja 388 %, kun maan EDTA-Cu-pitoisuus oli noin 0,4 mg/l (maat 3 ja 87). Kuitenkin on huomattava, että pH-luvun kohoamisella oli edullinen vaikutus jyväsatoon myös riittävän määrän EDTA-Cu:ta sisältävillä mailla (maat 14 ja 15). Olkisadon muutokset olivat yleensä vähäiset, poikkeuksena hapan ja niukkakuparinen turvemaa (85).

Kalkitukselle vastakkainen toimenpide, rikkihapon lisäys, alensi maiden pH-luvun 6,8:sta 6,2:een, mutta vain yhdellä maalla saatiin merkitsevä jyväsadon lisäys 11,8 g/ast ja olkisato väheni 11,0 g/ast.

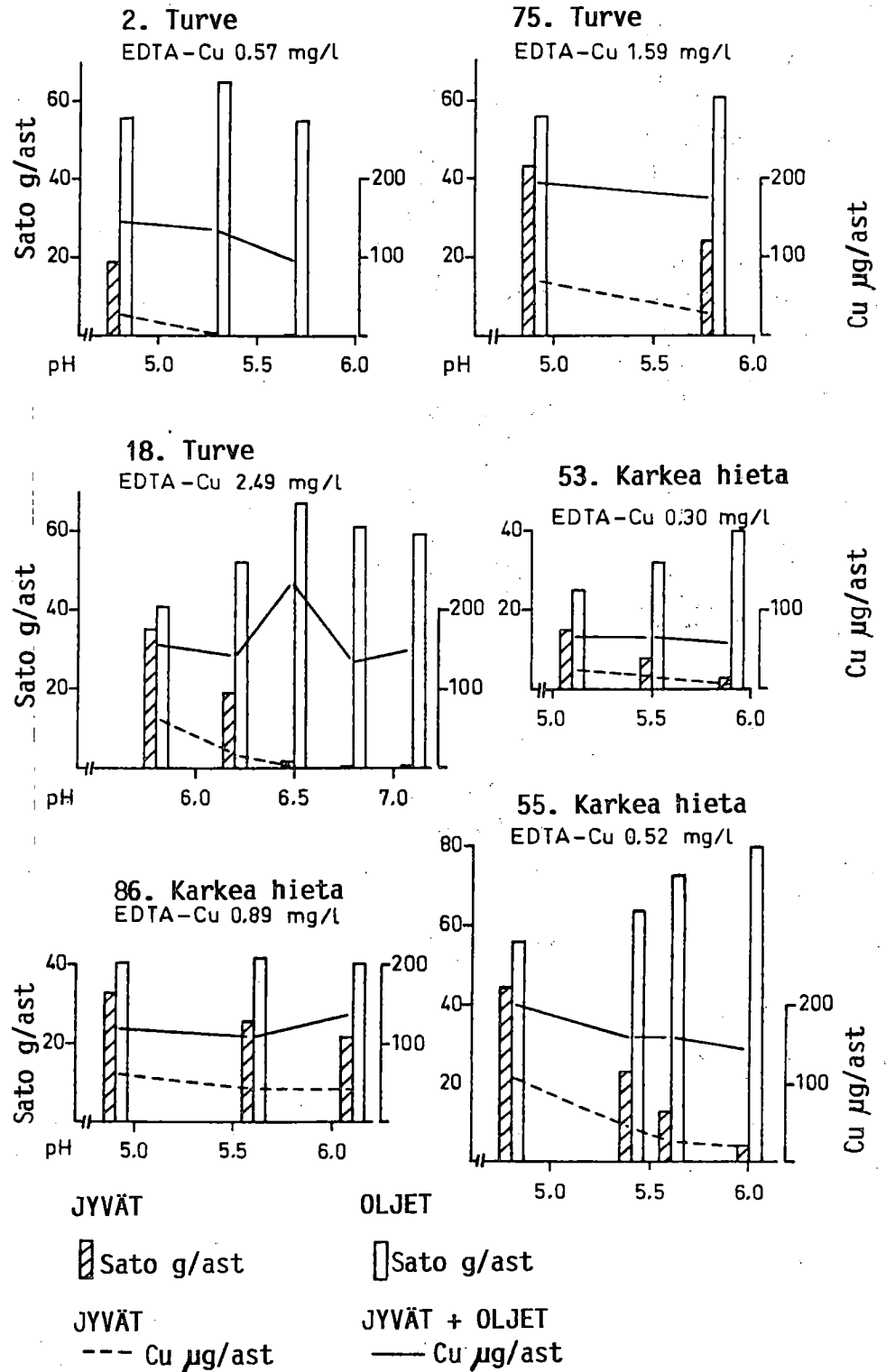
Kaikilla kalkituilla mailla jyväsato väheni keskimäärin $4,4 \pm 9,7$ g/ast (Taulukko 2). Maan pH-luvun ja kalkituksen aiheuttaman sadonmuutoksen välinen korrelaatio oli melko heikko ($r = -0,38^*$).

Jyvien kuparipitoisuus oli kalkituilla mailla pienempi kuin kalkitsemattomilla samoin myös olkien kuparipitoisuus (Taulukko 2). Maan EDTA-Cu-pitoisuuden ja kalkituilla mailla tuotettujen jyvien kuparipitoisuuden ($r = 0,37^*$) tai olkien kuparipitoisuuden ($r = 0,31^*$) välinen korrelaatio oli melko löyhä. Maan pH-luvun ja kummankin kasvinosan kuparipitoisuuden välinen negatiivinen korrelaatio oli heikko (jyvät: $r = -0,11$, oljet: $r = -0,10$).

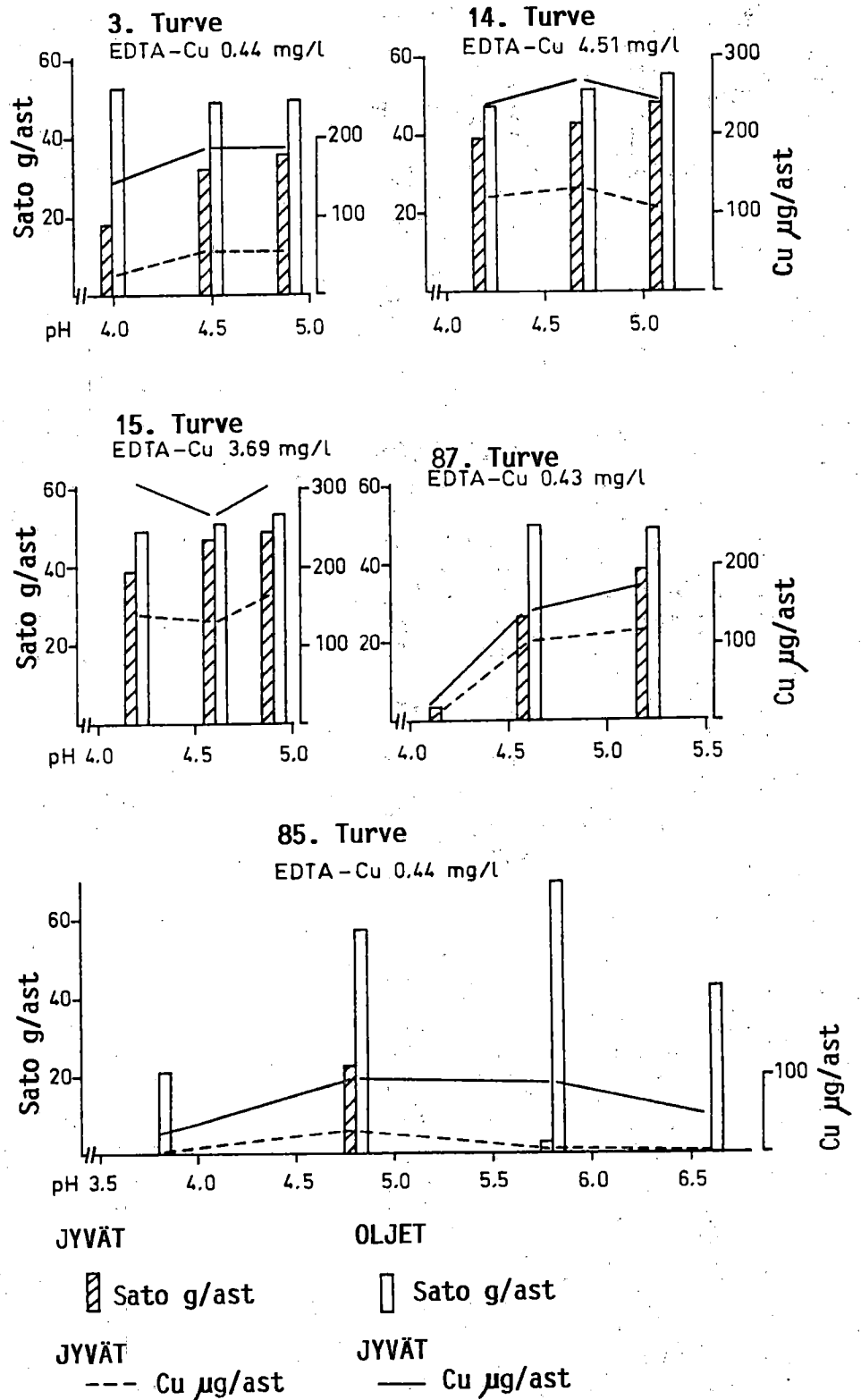
Kalkituilla mailla kauran koko sadon kuparin otto oli vain 11 $\mu\text{g/ast}$ (6 %) pienempi kuin vastaavilla kalkitsemattomilla mailla (Taulukko 2). Tästä jyväsadon osuus oli 10 $\mu\text{g/ast}$. ja olkisadon 1 $\mu\text{g/ast}$.

Kun kalkitus lisäsi jyväsatoa, jyvien kuparin otto ei seurannut sadon muutoksia (Kuva 5). Kalkituksen negatiivinen vaikutus jyväsatoon ilmeni samansuuntaisena kuparin oton muutoksena (Kuva 4).

Maan pH-luvun ja jyvien kuparin oton välinen negatiivinen riippuvuus ($r = -0,16$) ei ollut merkitsevä.



Kuva 4. Maan pH(H₂O)-luvun kohottamisen negatiivinen vaikutus kauran jyväsatoon (g/ast) sekä samalla saadut olkisadon (g/ast) ja satojen kuparin oton (µg/ast) muutokset (ilman kuparilannoitusta). EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetaatti-EDTA:han uuttuva Cu.



Kuva 5. Maan pH(H₂O) -luvun kohottamisen positiivinen vaikutus kauran jyväsatoon (g/ast) sekä samalla saadut olkisadon (g/ast) ja satojen kuparin oton (µg/ast) muutokset (ilman kuparilannoitusta). EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetaatti-EDTA:han uuttuva Cu.

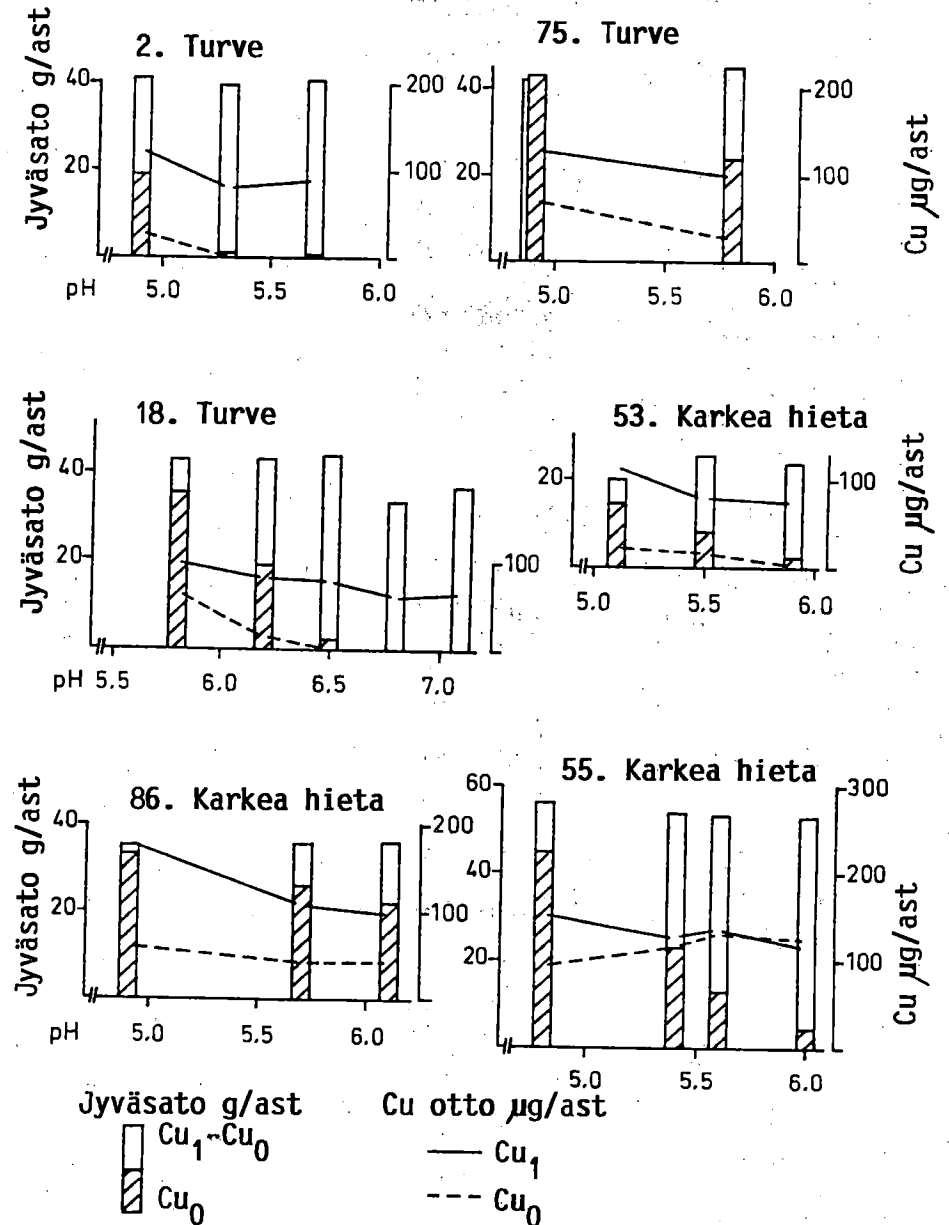
Taulukko 2. Kalkituksen aiheuttamat kauran jyvä- ja olkisadon sekä kuparipitoisuuden ja kuparin oton muutokset koko aineistossa (ilman kuparilannoitusta).

	Ilman kalkitusta		Muutos ($Ca_n - Ca_0$)		vaihtelu	%
	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
Jyväsato, g/ast	34,0	+13,1	-4,4	+ 9,7	-34,9 - 38,8	13
Olkisato, g/ast	46,5	+10,3	0,8	+10,5	-29,7 - 48,3	2
Jyvät, Cu mg/kg	2,2	+0,7	-0,5	+0,5	-1,9 - 1,8	23
Oljet, Cu mg/kg	2,1	+0,4	-0,2	+0,4	-2,0 - 1,1	10
Jyvät, Cu μ g/ast	82	+38	-10	+24	-91 - 101	12
Oljet, Cu μ g/ast	95	+27	-1	+27	-64 - 139	1
Koko sato, Cu μ g/ast	177	+58	-11	+38	-171 - 159	6

4.3. Kalkitus ja kuparilannoitus

Kalkituilla mailla kuparilannoituksella oli positiivinen vaikutus kauran jyväsatoon, kasviainesten kuparipitoisuuteen ja satojen kuparin ottoon, poikkeuksena olkisadon väheneminen (Taulukko 3). Kalkitsemattomiin maihin verrattuna kuparipitoisuuden ja kuparin oton muutokset olivat kalkituilla mailla pienemmät. Samoin lannoituksena annetun kuparin näennäinen käyttö väheni.

Kalkituksen ja kuparilannoituksen samanaikaisella käytöllä oli merkitsevä yhteisvaikutus kauran jyväsatoon kahdellakymmenellä maalla. Enin osa niistä oli turpeita. Mailla, joilla jyväsato väheni maan pH-luvun kohotessa, kuparilannoitus tasoitti satoerot (Kuva 6). Kuparilannoituksen aiheuttama jyvien kuparin oton lisäys (kuvassa yhtenäisen ja katkoviivan välinen alue) vaihteli huomattavasti eri maaerillä. Jyvien kuparin otto oli usein pienin kuparilannoituksen ja suuren kalkkimäärän saaneissa sadoissa, sillä kalkituksella oli negatiivinen vaikutus jyvien kuparipitoisuuteen riippumatta kuparilannoituksesta.



Kuva 6. Kuparilannoituksella saadut kauran jyväsadon ja jyvien kuparin otton muutokset eri $pH(H_2O)$ -tasoilla, kun kalkitus yksin vähensi jyväsattoa. EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetatti-EDTA:han uuttuva Cu.

Taulukko 3. Kuparilannoituksen (25 mg/ast Cu) aiheuttamat kauran jyvä- ja olkisadon, kuparipitoisuuden ja kuparin oton muutokset kalkituilla mailla.

	Ilman kuparia		Muutos Cu_1-Cu_0		vaihtelu	%
	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
Jyväsato, g/ast	30,8	+14,7	11,9	+14,7	-7,8 - 48,8	39
Olkisato, g/ast	46,9	+ 9,5	-2,0	+ 7,3	-31,7 - 30,0	4
Jyvät, Cu mg/kg	2,1	+0,7	1,2	+0,9	-0,6 - 6,8	55
Oljet, Cu mg/kg	2,2	+0,5	0,6	+0,5	-0,9 - 3,3	28
Jyvät, Cu μ g/ast	71	+45	64	+43	-16 - 239	90
Oljet, Cu μ g/ast	95	+31	27	+36	-122 - 162	28
Koko sato, μ g/ast	166	+56	91	+61	-46 - 376	

Laskennallisesti arvioitu lannoitekuparin otto:

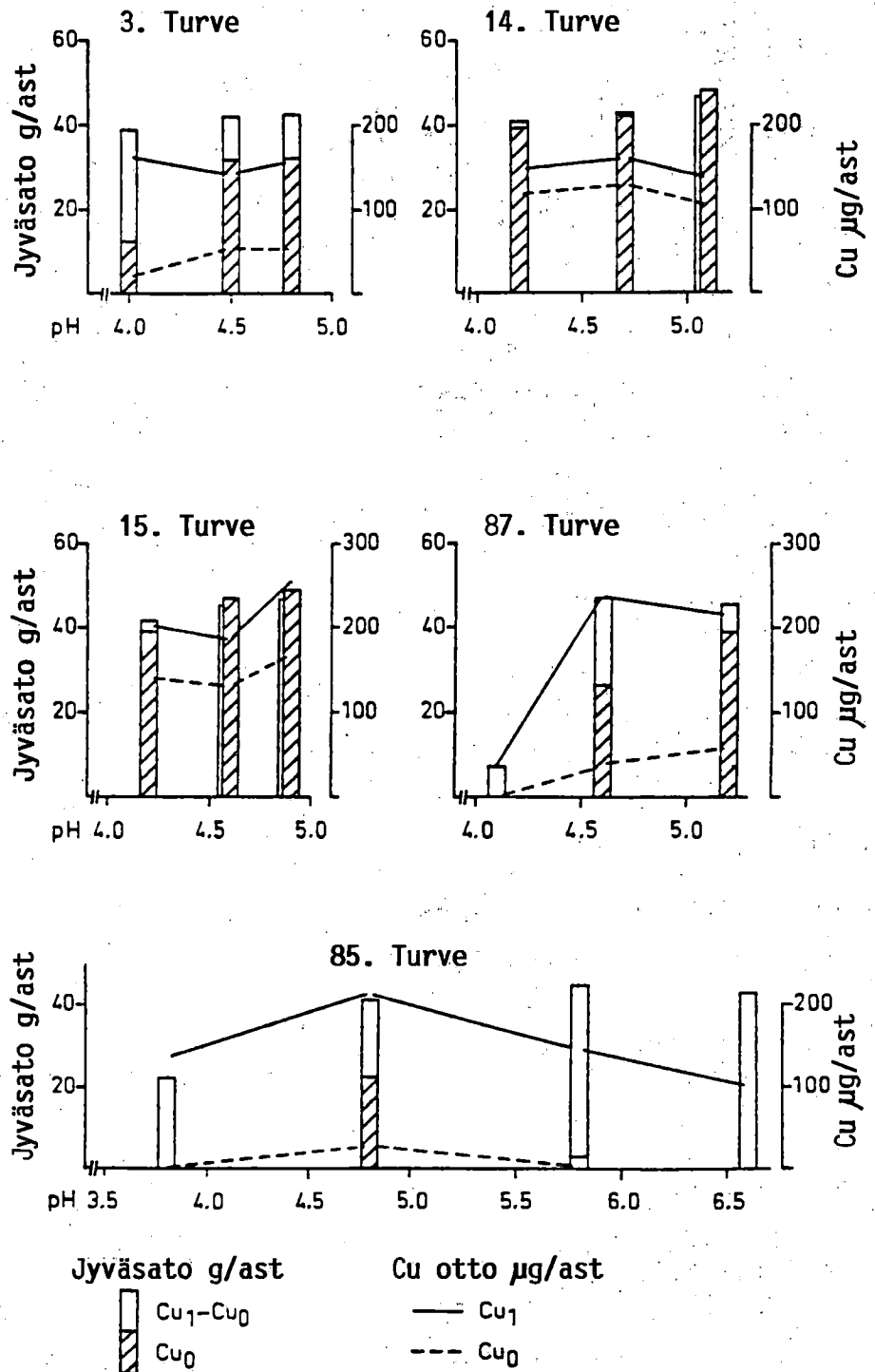
Koko sato 0,36 +0,20 %

Jyväsato 0,26 +0,17 %

Kuparilannoituksella voitiin tasoittaa satoeroja silloinkin, kun kalkitus yksin lisäsi jyväsatoa (Kuva 7). Muutamilla runsaasti kuparia sisältävillä mailla (maat 14 ja 15) kuparilannoituksella oli negatiivinen vaikutus jyväsatoon. Kuparilannoituksen aiheuttama jyvien kuparinoton lisäys (Cu_1-Cu_0) vaihteli eri maaerillä.

Rikkihappoa lisäämällä toteutettu maan pH-luvun alentaminen yhdessä kuparilannoituksen kanssa antoi kaikilla pH-tasoilla yhtä suuret jyväsadot. Jyvien kuparipitoisuus ja jyväsadon ottama kuparimäärä lisääntyivät hapolla käsittelemättömään verrattuna, kun pH-luku aleni 6,8:sta 6,2:een.

Kokeen lopussa kuparilannoituksen vaikutus maan EDTA-Cu-pitoisuuteen oli riippumaton maan pH-luvusta, lannoittamattoman maan EDTA-Cu-pitoisuudesta tai sadon ottamasta kuparimäärästä.



Kuva 7. Kuparilannoituksella saadut kauran jyväsadon ja jyvien kuparin oton muutokset eri pH(H₂O)-tasoilla, kun kalkitus yksin lisäsi jyväsatoa. EDTA-Cu = happamaan ammoniumasetaatti-EDTA:han uuttuva Cu.

5. TARKASTELU

Kuparilannoituksen ja kalkituksen vaikutusta kauran satoon ja kuparin ottoon tutkittiin astiakokeessa yhtenä kasvukaute-
na. Kasvualustana olleilla 77 maaerällä kuparin puutteen oli
todettu rajoittavan kauran jyväsadon muodostumista ja kupa-
rin ottoa selvimmin silloin, kun maan EDTA-Cu-pitoisuus oli
alle 1,5 mg/l (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987).

Kuparin puute rajoitti viljoilla jyväsadon muodostumista ja
jyvien kuparin ottoa tehokkaammin kuin olkisadon ominaisuuksia
(THIEL 1972).

Kuparilannoituksen vaikutus kauran jyväsatoon ja jyvien kupa-
rin ottoon oli selvemässä vuorosuhteessa maan EDTA-Cu- kuin
HCl-Cu-pitoisuuteen. EDTA-Cu-pitoisuuden muutokset selitti-
vät noin 30 % jyväsadon lisäyksen vaihteluista ja 43 % jy-
vien kuparin otton vaihteluista. TÄHTISEN (1971) mukaan maan
HCl-Cu-pitoisuuden vaihtelut selittivät kenttäkokeissa vain
noin 10 % sadonlisäyksen vaihteluista. Tässä astiakokeessa
saatu vastaava selittävyysaste (12 %) on yhdenmukainen edellä
mainitun tutkimuksen kanssa.

Ilman kuparilannoitusta saadut tulokset (JOKINEN ja TÄHTINEN
1987) samoin kuin tässä tutkimuksessa saadut viittaavat sii-
hen, että EDTA-Cu-pitoisuuden kriittiseksi rajaksi sopinee
1,5-2 mg/l. Tässä astiakokeessa maan alhainen EDTA-Cu-pi-
toisuus yksinään ei kaikissa tapauksissa ilmaissut kauran
kuparilannoituksen tarvetta, sillä kuparilannoituksen vaiku-
tus jyväsatoon ja kuparin ottoon vaihteli niukkakuparisilla-
kin (alle 2 mg/l EDTA-Cu) mailla.

Astiakokeessa kuparilannoituksella saadun jyväsadon lisäyksen
tai kuparipitoisuuden nousun riippuvuus maan EDTA-Cu-pitoi-
suudesta oli löyhempi kuin lannoituksen aiheuttaman kuparin
oton lisäyksen riippuvuus siitä. Lannoituksen vaikutuksesta
antaa siis parhaan kuvan kuparin otto. Kauran jyväsato ja
jyvien kuparin otto ilmaisivat kumpikin yhtä hyvin maan
EDTA-Cu-pitoisuuden vaikutusta (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987).
Kenttäkokeissa riippuvuussuhteet saattavat kuitenkin olla
toiset kuin astiakokeessa.

CALDWELLin (1971) sekä HARRYn ja GRAHAMin (1981) mukaan viljojen jyväsato ja kuparin otto olivat suurimmat silloin, kun maan pH oli viiden tienoilla. Samaan viittaavat tämän tutkimuksen kalkituilla mailla (ilman kuparilannoitusta) saadut merkitsevät satotulokset. Myös kuparilannoituksen positiivinen vaikutus kuparin ottoon näytti vähenevän pH-luvun noustessa. Mm. McBRIDE ja BLASIAK (1975), KUO ja BAKER (1980), JEFFERY ja UREN (1983) sekä CAVALLARO ja McBRIDE (1984) ovat todenneet, että maan kuparin tai lisätyn kuparin sorptio orgaaniseen ainekseen kompleksiyhdisteiksi Fe- tai Al-oksidien pinnalle tai kationinvaihtopaikoille oli voimakkainta pH 6 ja 7 välillä.

Erittäin happamilla mailla kalkituksen edullinen vaikutus kauran kuparin saantiin lienee juuriston parantuneiden kasvuolojen ansiota eikä aiheudu kuparin reaktioista maassa. Kasvit ottavat kuparin lähes yksinomaan root interception kautta (OLIVER ja BARBER 1966), minkä vuoksi juuriston kehitymisellä on tärkeä merkitys.

Tämän tutkimuksen maanäytteistä ei määritetty muita kuparin reaktioihin vaikuttavia ominaisuuksia kuin pH-luku. SIL-LANPÄÄN (1982) mukaan orgaanisen hiilen määrä on tärkein kuparin käyttökelpoisuuteen vaikuttava maan ominaisuus. Hänen tutkimuksessaan vehnäkasvuston (kasvu aika 36 vrk) kuparipitoisuuden muutoksia selittivät orgaanisen hiilen pitoisuudella korjatun EDTA-Cu-pitoisuuden vaihtelut paremmin kuin korjaamattoman pitoisuuden vaihtelut.

Turvemaissa kupari muodostaa humus- ja fulvohappojen kanssa pysyviä kompleksiyhdisteitä (KERVEN ym. 1984). Kuparin pidätyminen on voimakkainta runsaasti liukoista orgaanista ainesta sisältävillä mailla, mikä aiheuttaa turvelajien väliset kuparin sorption erot. Kuparilannoituksen edullinen vaikutus kalkituissa maissa perustuu kompleksiyhdisteiden muodostumisen vähenemiseen, kun pidätyskohdat ovat täyttyneet. Loppu kupari jää maahan ionimuotoon (KERVEN ym. 1984, NIELSEN 1986). Kuparin pidätyminen maahan lienee pääasiallinen syy siihen, että kuparilannoituksen aiheuttama EDTA-Cu-pitoisuuden nousu vaihteli tämän tutkimuksen eri maaerissä. Muutamien maiden EDTA-Cu-pitoisuuden kohoaminen kokeen aikana enemmän

kuin lisätyn kuparin määrällä johtunee maiden kuivuus-kosteus vaihteluista kokeen aikana (WILLIAMS ja McLAREN 1982).

Kasveille käyttökelpoisen kuparin uuttamiseen maasta käytetään useita eri liuoksia, joista kukin uuttaa maan kokonaiskuparin eri fraktioita. LEVESQUE ja MATHUR (1986) osoittivat pelkän veden uuttavan turvemaasta niitä kuparin fraktioita, joita kasvit ottavat.

6. KIRJALLISUUS

- CAVALLARO, N. & McBRIDE, M. B. 1984. Zinc and copper sorption and fixation by an acid soil clay: Effect of selective dissolutions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48: 1050-1054.
- CALDWELL, T. H. 1971. Copper deficiency in crops II. Copper deficiency in peats and sands in East Anglia. *Min. Agric. Fish. Food. Techn. Bull.* 21: 73-87.
- HARRY, S. P. & GRAHAM, R. D. 1981. Tolerance of triticale, wheat and rye to copper deficiency and low and high soil pH. *J. Plant Nutrition* 8: 721-730.
- JEFFERY, J. J. & UREN, N. C. 1983. Copper and zinc species in the soil solution and the effects of soil pH. *Aust. J. Soil Res.* 21: 479-488.
- JOKINEN, R. & TÄHTINEN, H. 1987. Karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden kuparipitoisuus ja sen vaikutus kauran kasvuun astiakokeessa. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 17/87: 1-17.*
- KARAMANOS, R. E., FRADETTE, J. G. & GERWING, P. D. 1985. Evaluation of copper and manganese nutrition of spring wheat grown on organic soils. *Can. J. Soil Sci.* 65: 133-148.
- KERVEN, G. L., EDWARDS, D. G. & ASHER, C. J. 1984. The determination of native ionic copper concentrations and copper complexation in peat soil extracts. *Soil Sci.* 137: 91-99.
- KUO, S. & BAKER, A. S. 1980. Sorption of copper, zinc and cadmium by some acid soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 969-974.
- LEVESQUE, M. P. & MATHUR, S. P. 1986. Soil test for copper, iron, manganese and zinc in histosols: 1. The influence of soil properties, iron, manganese and zinc on the level and distribution of copper. *Soil Sci.* 142: 153-163.

- MCBRIDE, M. B. & BLASIAK, J. J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43: 866-870.
- NIELSEN, J. D. 1986. Nogle danske jordes kobberbindingsevne. Summary: Copper fixation in some Danish soils. Tidsskr. Planteavl 90: 75-78.
- OLIVER, S. & BARBER, S. A. 1966. Mechanisms for the movement of Mn, Fe, B, Cu, Zn, Al and Sr from one soil to the surface of soybean roots (Clyside maxima). Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 468-470.
- SILLANPÄÄ, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. FAO Soils Bull. 48. 444 p.
- THIEL, H. 1972. Ermittlung von Grenzwerten optimaler Kupfer-Versorgung für Hafer und Sommergerste in Gefäßversuchen und unter Feldbedingungen Schleswig-Holsteins. 188 p. Diss.
- TÄHTINEN, H. 1971. Copper content of the soil and the effect of copper fertilization. Acta Agric. Fenn. 123: 136-142.
- WILLIAMS, J. G. & McLAREN, R. G. 1982. Effects of dry and moist incubation of soils on the extractability of native and applied soil copper. Plant and Soil 64: 215-224.

Liitetaulukko II. Kuparilannoituksen (25 mg/ast Cu = Cu₁) ja kalituksen vaikutus maiden ominaisuuksiin ja kauran saotuloksiin astiakokeen lopussa (luvut ovat kolmen kerranteen keskiarvoja).

Maa n:o	CaCO ₃ g/ast	pH(H ₂ O) Cu ₀	Cu ₁	EDTA-Cu mg/l Cu ₀	EDTA-Cu mg/l Cu ₁	Sato g/ast jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu mg/kg jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu otto jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	yht. Cu ₁
ELOPERÄISET MAAT												
1.	0	4,60	4,62			46,4	52,0	3,37	3,42	157	178	335
Ct	5	5,08	5,12			45,6	52,0	2,16	2,68	99	140	239
	10	5,50	5,52			42,1	47,4	2,04	3,04	86	147	233
2.	0	4,92	4,87	0,53	7,36	41,0	52,8	2,90	2,92	120	154	274
htCt	5	5,28	5,32	0,59	7,97	39,7	51,9	2,00	2,34	80	122	202
	10	5,65	5,77	0,58	7,28	40,7	49,7	2,11	2,20	67	110	197
3.	0	4,05	4,00	0,46	6,31	38,6	47,3	4,27	4,20	164	199	363
Ct	5	4,48	4,48	0,41	6,37	41,8	50,0	3,34	4,02	143	203	345
	10	4,88	4,87	0,49	7,10	42,3	50,8	3,71	3,95	157	200	357
4.	0	3,93	3,98	6,31	13,12	40,1	47,4	4,88	4,73	195	225	420
Ct	5	4,43	4,42	6,06	12,17	38,8	50,3	5,20	5,04	201	253	454
	10	4,80	4,78	6,34	12,61	48,3	55,6	4,13	3,91	199	217	416
5.	0	4,50	4,50	0,35	5,39	42,8	50,3	4,27	4,18	183	211	394
Ct	5	4,82	4,82	0,35	4,93	44,3	49,5	4,24	3,85	189	192	381
	10	5,08	5,13	0,39	5,44	35,0	43,5	2,76	3,79	89	167	256
6.	0	4,78	4,82			41,5	47,9	5,08	5,61	211	271	482
Ct	5	5,12	5,13			43,5	47,7	3,92	4,50	170	215	385
	10	5,40	5,42			42,9	45,5	3,83	4,39	165	200	365
7.	0	5,75	5,75			38,6	49,2	2,62	3,52	94	171	265
htCt	5	5,98	5,98			41,2	48,8	2,14	3,14	88	153	241
	10	6,23	6,25			43,6	49,5	2,00	2,99	87	148	235
8.	0	5,33	5,28			39,6	48,5	2,90	3,08	115	149	264
Ct	5	5,63	5,63			36,9	45,2	3,26	3,27	120	147	267
	10	5,97	5,93			36,5	43,9	3,25	3,00	116	131	247
9.	0	5,85	5,85	1,05	7,89	36,2	46,4	1,67	2,37	61	103	164
Ct	5	6,15	6,17	1,29	8,39	38,2	47,2	2,21	2,20	85	103	188
	10	6,40	6,37	1,19	8,91	40,2	44,5	2,21	2,25	89	100	189
10.	0	4,38	4,37			39,7	47,6	3,51	2,61	138	124	262
Ct	5	4,72	4,67			40,5	48,2	3,44	2,59	139	125	264
	10	4,97	4,98			43,7	49,2	2,56	2,15	112	105	217
11.	0	4,13	4,10			38,4	50,7	5,90	5,70	226	289	515
Ct	5	4,70	4,72			41,0	54,9	4,79	5,38	199	297	496
	10	5,32	5,30			41,3	55,4	4,58	3,75	189	207	396
12.	0	5,32	5,38			44,0	51,9	2,84	2,75	130	142	272
Ct	5	5,63	5,63			47,8	53,6	2,44	2,59	117	139	256
	10	5,87	5,90			48,7	51,4	2,53	3,71	123	192	315
13.	0	5,28	5,30			44,7	47,9	2,60	2,43	116	116	232
Ct	5	5,48	5,47			39,5	44,4	2,74	2,64	109	117	226
	10	5,67	5,68			40,5	40,2	3,21	2,97	130	119	249
14.	0	4,25	4,18			40,9	47,1	3,67	3,00	149	141	290
Ct	5	4,70	4,67			42,4	49,5	3,81	3,17	162	157	319
	10	5,05	5,08			47,2	55,9	2,89	2,63	136	147	283
15.	0	4,18	4,18			41,5	48,2	4,90	4,36	202	210	412
Ct	5	4,60	4,55			45,3	51,5	4,08	3,36	185	173	358
	10	4,90	4,97			46,8	50,7	5,46	3,07	254	156	410
16.	0	5,55	5,62			43,5	55,1	1,69	2,35	74	128	202
Ct	5	5,83	5,85			40,4	49,3	1,71	2,10	67	103	170
	10	6,03	6,03			39,4	50,2	1,47	2,28	57	114	171
17.	0	4,95	4,93			47,1	53,2	3,12	3,31	147	176	323
Ct	5	5,18	5,27			45,3	52,6	2,36	3,22	106	169	275
	10	5,57	5,57			46,4	48,4	2,20	2,79	102	134	236
	15	5,80	5,75			47,0	47,8	2,95	2,33	136	112	248
18.	0	5,83	5,82	2,11	9,29	43,0	44,6	2,25	2,64	97	116	213
Ct	5	6,17	6,13	2,17	9,63	43,0	43,1	1,87	2,58	80	78	158
	10	6,48	6,50	2,10	9,99	43,7	44,7	1,75	2,50	76	112	188
	15	6,72	6,82	2,57	9,82	33,3	38,5	1,94	2,83	59	108	167
	20	7,05	7,07	2,39	9,78	36,4	39,1	1,58	2,93	62	113	175
19.	0	4,72	4,70			41,4	44,7	3,78	3,51	157	157	316
Ct	5	5,02	5,05			40,1	45,3	2,24	3,04	90	138	228
	10	5,37	5,33			34,7	42,0	2,63	2,98	90	125	215
20.	0	4,45	4,40			39,2	41,9	2,39	2,65	95	109	204
Ct	5	4,73	4,75			46,0	46,9	1,92	2,07	88	134	222
	10	5,02	5,05			45,7	49,3	1,96	2,68	89	133	222
	15	5,23	5,23			42,0	45,3	2,43	2,21	101	100	201
21.	0	4,38	4,35	1,79	7,81	46,8	55,8	5,28	4,10	249	228	477
Ct	5	4,58	4,58	1,39	7,22	44,5	55,1	4,05	3,74	180	205	385
	10	4,83	4,82	1,62	8,70	45,4	52,2	3,23	3,27	146	171	317
	15	5,07	5,07	1,46	7,40	42,2	51,1	3,57	2,98	148	152	400
	20	5,30	5,28	1,40	7,89	40,9	49,6	3,10	2,93	128	145	273

Maa n:o maa- laji	CaCO ₃ g/ast	pH(H ₂ O) Cu ₀	Cu ₁	EDTA-Cu mg/1 Cu ₀	mg/1 Cu ₁	Sato g/ast jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu mg/kg jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu otto µg/ast jyvät oljet Cu ₁	Cu ₁	Cu ₁
22.	0	4,88	4,87			38,6	49,1	4,53	3,47	174	170	344
Ct	5	5,18	5,20			44,6	50,9	3,50	2,86	156	136	292
	10	5,58	5,53			44,6	50,1	2,88	2,60	128	129	257
23.	0	4,87	4,90			34,2	48,3	4,63	3,63	154	173	328
Ct	5	5,17	5,17			31,5	45,7	3,57	2,98	113	137	250
	10	5,40	5,42			30,6	41,0	3,47	3,24	103	132	235
50.	0	5,25	5,23	5,80	10,83	40,2	53,8	3,51	2,76	141	139	280
Mn	4	5,57	5,57	5,40	11,20	37,2	52,1	2,67	2,42	100	126	226
	8	5,98	6,00	5,63	10,97	38,8	51,0	2,19	2,29	85	117	202
74.	0	5,70	5,67	1,57	7,50	46,5	52,3	2,57	1,90	119	100	219
Ct	5	5,88	5,90	1,63	6,97	45,9	51,4	2,37	2,27	109	116	225
	15	6,47	6,62	1,60	6,90	43,1	51,9	2,68	2,02	116	104	220
75.	0	4,93	4,92	1,20	5,77	42,0	57,2	3,08	3,13	129	179	308
Ct	15	5,78	5,72	1,20	5,90	44,4	57,0	2,23	2,97	99	170	269
78.	0	5,08	5,05	0,57	6,17	45,8	55,7	2,42	2,17	111	121	232
Ct	10	5,67	5,87	0,57	6,23	44,5	54,9	1,85	2,60	83	142	225
	20	6,27	6,30	0,57	6,13	46,3	53,5	1,90	1,99	88	107	195
	25	6,57	6,53	0,70	6,23	48,8	56,7	1,77	2,00	87	114	201
79.	0	4,80	4,80	0,22	5,77	29,5	42,3	8,32	7,63	245	320	565
Ct	5	5,12	5,12	0,33	5,60	35,0	46,1	6,83	5,16	239	234	473
	15	5,77	5,78	0,37	5,87	40,3	45,3	5,46	3,43	220	155	375
82.	0	4,73	4,73	0,53	5,87	39,8	48,0	3,29	2,71	131	131	262
Ct	10	5,47	5,50	0,53	5,87	42,9	51,0	2,17	2,37	93	121	214
	20	6,20	6,17	0,56	5,70	41,5	50,2	1,58	2,35	65	118	183
83.	0	5,07	5,05	2,20	6,97	40,2	46,3	2,67	2,51	107	116	223
Ct	5	5,48	5,48	1,93	7,13	39,6	46,5	2,11	2,54	84	118	202
	15	6,18	6,27	1,67	6,97	38,8	47,3	1,82	2,26	71	107	178
85.	0	3,77	3,77	0,50	6,77	22,3	24,8	6,08	3,24	135	80	215
CSt	10	4,77	4,88	0,50	6,43	41,0	50,4	5,15	2,79	210	140	350
	20	5,68	5,97	0,50	7,03	44,1	51,1	3,47	2,10	147	107	254
	30	6,65	6,47	0,50	7,00	42,5	50,3	2,43	2,58	102	130	232
87.	0	4,25	4,03	0,44	5,63	6,8	30,8	4,78	5,46	32	168	200
Lct	10	4,60	4,63	0,43	4,57	47,0	47,5	4,95	4,33	233	205	438
	20	5,23	5,18	0,39	5,07	45,4	51,7	4,72	4,42	215	225	440
KARKEAT KIVENNÄISMAAT												
28.	0	5,95	5,95	1,40	5,57	37,5	39,8	3,21	2,82	121	115	236
hsHHT	2	6,10	6,17	1,53	6,57	35,3	39,7	2,95	2,92	104	116	220
	6	6,47	6,43	1,50	6,20	33,7	37,7	2,93	1,92	100	73	173
29.	0	5,17	5,08	0,34	2,93	47,1	91,4	7,04	3,63	312	172	484
KHt	3	5,55	5,17	0,39	3,37	40,8	83,7	6,06	3,37	259	137	396
	7	6,16	6,29	0,42	3,68	34,3	71,3	5,07	3,29	187	112	299
30.	0	6,42	6,40			46,9	42,3	3,03	2,34	142	98	240
Hht	2	6,52	6,55			47,3	45,3	3,14	2,20	148	104	252
	6	6,82	6,88			48,3	44,1	3,27	2,46	158	109	267
31.	0	5,37	5,30	4,20	8,57	40,6	48,9	4,48	2,54	182	124	306
hsHHT	5	5,85	5,78	4,40	9,53	39,3	48,5	3,36	2,19	132	106	238
	9	6,32	6,27	4,27	8,73	38,5	48,9	3,32	2,07	128	100	228
33.	0	5,75	5,73			44,2	46,8	3,01	2,40	133	113	246
KHt	3	6,08	6,12			40,2	41,3	2,61	2,50	105	103	208
	7	6,52	6,42			38,5	40,7	3,09	2,08	119	84	203
34.	0	5,76	5,72			42,9	40,7	4,19	2,75	181	112	293
KHt	4	6,01	5,96			42,1	40,0	3,86	2,73	162	109	271
	6	6,13	6,13			41,8	40,1	3,73	2,68	156	107	263
	10	6,34	6,36			41,9	39,8	3,46	2,62	144	104	248
35.	0	5,68	5,68	1,73	6,67	43,9	55,1	2,52	2,73	111	151	262
Hht	5	6,05	6,05	1,93	6,43	45,8	58,0	2,37	2,36	108	138	246
39.	0	6,60	6,63	0,67	5,27	36,1	39,4	2,07	2,37	75	93	168
KHt	5	7,12	7,07	0,83	5,10	34,3	38,1	1,83	2,54	62	97	159
41.	0	5,63	5,70	1,44	5,99	49,9	52,7	3,87	2,99	193	157	350
Hht	3	5,98	5,95	1,50	6,09	50,9	50,2	3,41	2,84	173	143	316
	7	6,27	6,40	1,57	6,70	51,5	46,9	3,02	2,58	156	122	278
42.	0	5,22	5,19			47,5	47,1	3,71	3,17	177	150	327
KHt	4	5,74	5,75			46,7	44,2	3,19	2,97	149	131	280
	8	6,37	6,28			44,6	41,7	2,70	3,05	120	127	247
43.	0	5,06	4,98	0,58	4,94	40,5	37,2	3,15	2,71	125	99	224
KHt	4	5,41	5,32	0,60	5,74	38,5	35,1	2,65	2,43	102	85	187
	6	5,57	5,54	0,64	5,76	37,8	33,5	2,43	2,17	91	73	164
	10	5,86	5,83	0,66	6,24	36,8	33,1	2,49	2,15	91	71	162
45.	0	6,11	6,05	1,50	6,63	35,7	41,4	3,62	2,35	129	98	227
KHt	5	6,57	6,50	1,60	6,53	33,0	36,6	3,46	2,60	115	95	210
46.	0	6,48	6,50			37,0	33,7	3,41	2,87	127	96	223
Hht	2	6,63	6,60			35,3	34,8	3,46	2,58	121	89	211
	6	6,85	6,93			33,1	30,8	3,29	2,85	109	88	197
47.	0	5,49	5,55			39,1	34,7	4,21	3,28	166	113	279
Hht	4	5,91	5,87			37,5	33,1	4,00	3,35	145	110	255
	8	6,34	6,34			34,1	28,9	3,40	3,38	114	99	213
48.	0	6,00	6,07	1,30	5,90	41,0	55,7	3,10	1,87	128	104	232
KHt	2	6,20	6,12	1,47	5,80	39,9	52,3	2,74	2,43	109	128	237
	6	6,57	6,53	1,60	6,07	42,4	52,9	2,91	1,73	123	92	215

Maa n:o maa- laji	CaCO ₃ g/ast	pH(H ₂ O) Cu ₀	Cu ₁	EDTA-Cu mg/l Cu ₀	mg/l Cu ₁	Sato g/ast jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu mg/kg jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu otto jyvät Cu ₁	µg/ast oljet Cu ₁	yht. Cu ₁
51.	0	5,15	5,11	0,74	4,79	42,1	38,9	3,65	2,85	153	111	264
Kht	4	5,53	5,53	0,77	5,99	38,9	35,0	2,73	2,60	106	91	197
	6	5,76	5,78	0,80	5,51	40,6	35,4	2,55	2,48	103	88	191
	10	6,09	6,17	0,83	5,96	34,1	30,9	2,56	2,31	87	101	188
52.	0	5,25	5,22			54,3	51,9	4,73	2,90	256	241	497
sKht	4	5,68	5,68			49,8	53,3	4,30	3,22	214	172	386
	8	6,17	6,10			54,5	53,6	3,52	2,89	191	154	345
53.	0	5,07	5,07	0,27	2,80	19,9	23,0	5,53	2,68	110	62	172
Kht	5	5,47	5,48	0,33	3,53	25,5	26,2	3,07	1,78	78	47	125
	9	5,88	5,95	0,37	3,80	24,0	24,6	3,05	1,67	73	41	114
54.	0	5,41	5,38	2,68	7,38	51,2	50,8	4,38	3,52	224	178	402
sHs	4	5,70	5,82	2,76	7,66	52,5	50,2	4,25	2,89	223	145	368
	8	6,33	6,25	2,83	7,95	50,5	51,2	2,79	2,87	141	148	289
55.	0	4,83	4,80	0,59	5,30	50,9	49,3	5,10	3,07	259	151	410
Kht	4	5,37	5,38	0,52	5,54	53,5	51,8	3,92	2,62	209	135	344
	6	5,62	5,60	0,54	5,50	53,2	50,8	3,02	2,68	160	136	296
	10	5,98	6,02	0,56	5,61	52,9	48,2	2,99	2,42	156	116	272
56.	0	5,09	5,01			30,1	27,4	5,29	3,39	160	93	253
Kht	4	5,42	5,43			34,0	26,9	4,57	2,98	154	80	234
	6	5,78	5,66			32,3	34,1	4,84	3,21	157	107	264
	10	5,98	5,96			31,1	29,5	4,35	3,12	135	92	227
57.	0	6,08	6,07	1,00	5,40	35,9	41,6	2,37	2,89	84	119	203
Kht	2	6,30	6,32	1,03	5,47	38,4	42,5	2,42	2,82	93	120	213
	6	6,78	6,75	1,03	5,40	39,3	44,9	2,42	2,49	94	111	205
58.	0	5,60	5,59	1,44	6,85	44,3	44,2	2,97	3,15	131	138	269
Kht	4	5,95	5,88	1,51	6,86	42,3	37,5	3,33	3,36	141	126	267
	8	6,35	6,43	1,57	8,00	41,8	36,4	3,21	3,64	135	132	267
59.	0	5,88	5,90			50,1	52,0	3,49	2,97	174	154	328
Hht	3	6,38	6,32			49,0	48,0	3,30	2,77	161	143	304
	7	7,00	7,00			46,5	43,8	3,33	2,65	155	116	271
60.	0	5,53	5,63	1,17	7,63	34,9	34,7	5,21	4,12	182	143	325
Kht	4	6,00	6,20	1,19	8,47	30,3	31,5	5,23	4,06	158	128	286
	8	6,70	6,55	1,28	8,20	32,0	32,2	4,55	3,82	145	124	269
61.	0	5,95	6,00	0,90	5,27	34,5	36,3	2,57	3,00	92	99	191
Kht	5	6,42	6,55	0,90	5,60	32,6	35,3	2,83	2,80	92	99	191
62.	0	4,55	4,47	0,70	5,97	26,8	31,9	5,50	4,06	147	130	277
Kht	5	5,37	5,43	0,73	5,23	36,6	41,7	4,35	2,71	159	116	275
	9	6,12	5,98	0,73	5,57	32,4	41,2	3,48	2,79	113	115	228
63.	0	4,88	4,84			49,2	46,5	4,29	3,06	210	141	351
hsHht	5	5,52	5,43			49,7	48,1	3,48	2,41	173	115	288
	9	5,85	5,92			47,6	45,0	3,50	2,31	165	103	268
64.	0	5,64	5,60	1,15	5,60	44,7	41,8	3,02	2,49	135	104	239
Hht	4	6,03	6,06	1,25	6,29	43,2	40,4	2,90	2,51	125	102	227
	8	6,44	6,52	1,30	6,52	46,0	43,2	3,08	1,92	143	83	226
65.	0	4,70	4,64	0,49	4,00	37,0	37,9	4,78	3,81	173	141	314
Kht	4	5,13	5,37	0,54	4,70	40,3	37,9	3,42	3,30	138	125	263
	8	6,18	6,15	0,66	5,37	37,9	34,2	2,94	3,53	112	120	232
66.	0	5,63	5,57			41,0	40,2	3,57	3,05	146	123	269
Kht	3	6,07	6,02			41,3	39,1	2,99	2,65	124	103	227
	7	6,53	6,47			44,5	39,3	2,61	2,81	116	110	226
67.	0	5,88	5,88	1,20	5,73	36,0	41,2	3,01	2,74	108	112	220
Kht	5	6,48	6,57	1,30	6,13	32,7	37,8	2,87	2,70	93	102	195
69.	0	5,83	5,85	1,00	5,50	43,1	54,7	3,37	2,29	145	125	270
Hht	2	6,05	6,00	1,07	5,33	44,6	54,3	3,55	2,36	157	129	286
	6	6,48	6,45	1,00	5,57	41,7	54,7	3,88	1,92	162	105	267
70.	0	5,53	5,47	2,27	6,53	43,1	56,1	3,54	2,58	152	145	297
Kht	2	5,68	5,61	2,17	6,60	43,5	56,5	3,10	2,43	134	138	272
	6	6,17	6,17	2,27	7,20	44,3	57,3	3,10	2,83	138	162	300
71.	0	5,49	5,47			39,1	34,8	5,52	2,49	216	87	303
Kht	3	5,89	5,86			33,9	33,2	4,80	2,94	162	98	260
	7	6,36	6,30			31,4	31,9	4,43	2,86	139	91	230
72.	0	5,22	5,19	0,80	4,50	52,4	51,1	3,22	2,88	168	148	316
Kht	4	5,65	5,70	0,88	4,77	53,1	52,6	2,42	2,80	128	144	262
	8	5,85	6,04	0,87	5,02	51,2	49,7	2,41	2,83	123	141	264
73.	0	5,50	5,50	0,74	5,57	44,3	47,6	4,71	2,51	210	119	329
Kht	3	5,95	5,98	0,82	5,30	43,7	44,1	3,85	2,03	171	89	260
	7	6,51	6,53	0,89	6,21	44,8	43,5	3,44	2,06	154	89	243
77.	0	5,67	5,68	1,57	5,33	33,3	36,7	2,00	2,15	67	79	146
Kht	2	5,88	5,90	1,57	5,83	30,5	33,6	1,87	1,99	57	70	127
	6	6,25	6,20	1,83	6,23	32,3	35,2	2,44	2,53	79	88	167
80.	0	4,65	4,55	0,56	4,17	38,7	42,2	6,94	5,18	268	217	485
Kht	5	5,93	5,88	0,43	3,77	35,4	39,1	4,40	2,93	151	115	266
	9	6,63	6,68	0,56	4,63	35,4	35,5	3,54	3,04	126	108	234
84.	0	6,32	6,30	1,73	6,20	35,8	40,5	1,73	1,88	62	76	138
Kht	5	6,73	6,75	1,80	5,93	34,5	38,1	1,63	1,89	56	72	128

Maa n:o maa- laji	CaCO ₃ g/ast	pH (H ₂ O) Cu ₀	Cu ₁	EDTA-Cu mg/l Cu ₀	mg/l Cu ₁	Sato g/ast jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu mg/kg jyvät Cu ₁	oljet Cu ₁	Cu otto jyvät Cu ₁	μg/ast oljet Cu ₁	yht. Cu ₁
86. Kht	0	4,95	4,88	0,63	5,30	35,3	40,8	4,99	2,46	176	100	276
	5	5,60	5,67	0,63	5,43	35,6	42,7	3,03	1,69	108	72	180
	9	6,08	6,03	0,60	5,73	35,9	41,1	2,73	2,77	98	115	213
88. HsS	0	5,70	5,73	4,60	8,57	41,5	49,1	3,10	2,33	128	106	234
	2	5,88	5,82	4,40	7,97	41,2	49,9	3,31	2,31	137	115	252
	6	6,12	6,20	4,40	8,67	43,1	49,1	2,74	2,38	118	117	235
40. Hht	0	6,70	6,75	1,16	5,03	36,4	37,2	2,72	2,81	97	103	200
	40	6,48	6,45	1,07	5,47	36,5	35,3	2,71	3,26	99	115	214
	80	6,25	6,23	1,07	5,10	39,1	40,3	3,04	3,28	119	131	250
44. Kht	0	6,73	6,75	2,98	7,95	51,6	65,7	3,39	4,18	170	216	386
	80	6,30	6,10	2,79	7,75	63,0	69,9	3,58	3,22	222	225	447
49. Kht	0	6,83	6,80	1,78	6,97	38,9	47,9	3,07	3,11	120	148	268
	40	6,62	6,60	1,76	7,30	39,2	48,6	3,41	3,29	134	160	294
	80	6,37	6,25	1,67	7,07	42,3	46,8	3,87	3,24	164	152	316

MAAN pH-LUVUN JA KUPARILANNOITUKSEN VAIKUTUS KAURAN HIVENRA-
VINNEPITOISUUKSIIN

	Sivu
Sisällysluettelo	
1. TIIVISTELMÄ	38
2. JOHDANTO	39
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	39
4. TULOKSET JA TARKASTELU	40
5. KIRJALLISUUS	44

1. TIIVISTELMÄ

Ilman kuparilannoitusta kauran jyvien ja olkien kupari-, sinkki- ja mangaanipitoisuus aleni ja rautapitoisuus lisääntyi maan pH-luvun kohotessa. Jyrkin muutos todettiin olkien mangaanipitoisuudessa.

Kuparilannoitus (25 mg/ast Cu, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:na) aiheutti jyvien ja olkien kuparipitoisuuden kohoamisen. Jyvien kuparipitoisuuden nousu oli suurin (2,5 mg/kg Cu) happamissa maissa ja se pieneni selvästi maan pH-luvun kohotessa. Eloperäisillä mailla kuparilannoituksen aiheuttama kauran jyvien ja olkien sinkki- ja rautapitoisuuden pieneneminen voimistui maan pH-luvun kohotessa. Karkeilla kivennäismailla jyvien sinkki- ja rautapitoisuuden alenema oli samansuuruinen kaikilla pH-tasoilla. Kuparilannoitus kohotti happamilla eloperäisillä mailla kauran olkien mangaanipitoisuutta ja vähensi sitä pH 5:n yläpuolella.

2. JOHDANTO

Happamien maiden pH-luvun kohottaminen aiheuttaa uuttuvien hivenravinnemäärien vähenemisen (McBRIDE ja BLASIAK 1979, MÄNTYLÄHTI 1981, SILLANPÄÄ 1982, JEFFERY ja UREN 1983).

Maan pH-luvun ja hivenravinnepitoisuuksien väliset vuorosuhteet heijastuvat samansuuntaisina myös kasvien ravinnepitoisuuksiin (KÄHÄRI ja NISSINEN 1978, SILLANPÄÄ 1982). Yhden hivenravinteiden lisääminen kalkittuun maahan saattaa aiheuttaa muiden hivenravinteiden puutteen korostumisen kasvissa. Eri-tyisesti kuparilla on kyky vallata kationinvaihtopaikat kasvin juurissa ja estää muiden ravinteiden ottoa. Tunnettuja ovat mm. liian kuparin aiheuttamat raudan ja sinkin puutosoireet (BERGMANN 1983).

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään kauran jyvien ja olkien hivenravinnepitoisuuksien riippuvuutta maan pH-luvusta ja kuparilannoituksesta. Eri-tyisesti kiinnitettiin huomiota jyvien ravinnepitoisuuksiin.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Aineistona käytettiin maan kuparipitoisuuden (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987 a) sekä kuparilannoituksen ja maan happamuuden (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987 b) vaikutuksia kauran kasvuun selvittävistä astiakokeista saatuja kasvinäytteitä. Kokeissa oli 77 eri maaerää, niistä jokaisesta oli kalkitse mattoman lisäksi yksi tai useampia kalkitustasoja, joista edelleen jokaisesta oli kuparin suhteen lannoittamaton (Cu_0) ja lannoitettu ($25 \text{ mg/ast Cu} = Cu_1$) käsittely. Käsittelypareja Cu_0-Cu_1 oli kokeessa yhteensä 236.

Kalkitse mattomien maiden $pH(H_2O)$ vaihteli 3,8 ja 6,8 välillä ja kalkittujen maiden 4,4 ja 7,1 välillä.

Kasvinäytteiden tuhkauutteista mitattiin kupari-, sinkki-, mangaani- ja rautapitoisuudet liekillisellä (ilma-asetyleeni) atomiabsorptiospektrofotometrillä, aallonpituuksilla Cu 324,8, Zn 213,9, Mn 280,1, Fe 248,3 nm (Liitetaulukko II ja III)

Jyvä- ja olkinäytteiden hivenravinnepitoisuuksien riippuvuuksia maan pH-luvusta (x) tutkittiin regressio- ja korrelaatioanalyysillä, jossa ravinnepitoisuuden (y) muuttujasta käytettiin alkuperäistä arvoa, sen logaritmi- tai neliöjuurimuunnosta. Korkeimman korrelaatiokertoimen antaneet tulokset esitetään.

4. TULOKSET JA TARKASTELU

Kauran jyvien hivenravinnepitoisuudet vaihtelivat samoilla alueilla kuin PESSIn ym. (1974) ja JAAKKOLAN ja VOGTin (1978) tutkimuksissakin. Olkien hivenravinnepitoisuudet olivat aikaisemmissa tutkimuksissa (JAAKKOLA ym. 1982) todettujen kaltaisia.

Kuparilannoitus (25 mg/ast Cu = 10 kg/ha Cu) kohotti jyvien keskimääräistä kuparipitoisuutta selvemmin kuin olkien pitoisuutta kummallakin maalajilla (Taulukko 1). Jyvien sinkkipitoisuus ja eloperäisillä mailla olkien mangaanipitoisuus pieneni kuparilannoituksen seurauksena noin viidenneksellä. Kummankin kasvinosan rautapitoisuuden alenema oli noin 15 %.

Kuparilla lannoittamattomien (Cu_0) kauran jyvien kuparipitoisuus pieneni eloperäisillä mailla noin 0,5 mg/kg ja karkeilla kivennäismailla noin 0,3 mg/kg jokaista yhden yksikön pH-luvun nousua kohti (Kuva 1). Kuparilannoituksen saaneiden jyvien kuparipitoisuus pieneni vastaavasti 1,5 mg/kg ja 1,0 mg/kg. Sekä maan pH-luvun nousun että kuparilannoituksen aiheuttamat olkien kuparipitoisuuden muutokset olivat saman suuntaiset kuin jyvissäkin, mutta selvästi lievemät.

Ilman kuparilannoitusta kauran jyvien sinkkipitoisuus oli eloperäisillä mailla riippumaton maan pH-luvusta, karkeilla kivennäismailla pH-luvun muutokset selittivät hieman yli 10 % sinkkipitoisuuden vaihteluista (Kuva 2). Kuparilannoituksella saaduissa jyväsadoissa sinkkipitoisuus pieneni maalajista riippumatta, ja pH-luvun muutokset selittivät 25-35 % pitoisuuden vaihteluista. Olkien sinkkipitoisuuden ja maan pH-lu-

Taulukko 1. Kuparilannoituksen vaikutus kauran jyvien ja olkien keskimääräiseen kupari-, sinkki-, mangaani- ja rautapitoisuuteen karkeilla kivennäismailloilla ja eloperäisillä mailla.

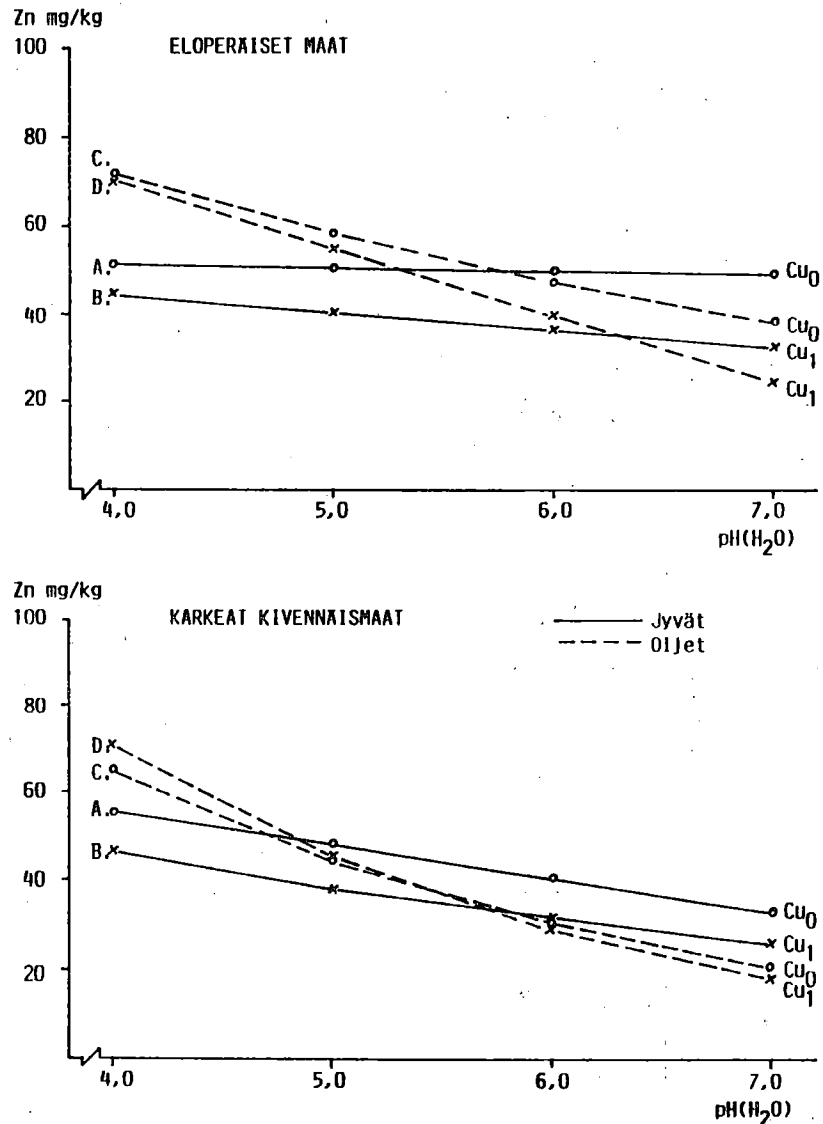
	Karkeat kivennäismaat		Eloperäiset maat	
	Jyvät (n = 131)	Oljet (n = 131)	Jyvät (n = 86)	Oljet (n = 103)
Kupari mg/kg				
Cu ₀	2,2 _{+0,6}	2,1 _{+0,4}	2,1 _{+0,9}	2,1 _{+0,4}
Cu ₁	3,5 _{+1,0}	2,8 _{+0,7}	3,2 _{+1,3}	2,8 _{+0,5}
Cu ₁ -Cu ₀	+1,3***	+0,7***	+1,1***	+0,7***
	59 %	33 %	52 %	33 %
Sinkki mg/kg				
Cu ₀	41 ₊₁₂	33 ₊₁₂	50 ₊₁₉	60 ₊₂₅
Cu ₁	32 ₊₆	32 ₊₁₂	39 ₊₅	51 ₊₁₇
Cu ₁ -Cu ₀	-9***	-1	-11***	-9**
	22 %	3 %	22 %	15 %
Mangaani mg/kg				
Cu ₀	62 ₊₁₈	160 ₊₁₀₁	69 ₊₂₀	172 ₊₉₄
Cu ₁	58 ₊₁₇	157 ₊₁₀₄	62 ₊₁₉	153 ₊₈₆
Cu ₁ -Cu ₀	-4	-3	-7*	-19
	6 %	2 %	10 %	11 %
Rauta mg/kg				
Cu ₀	52 ₊₁₂	72 ₊₂₃	37 ₊₁₂	92 ₊₄₂
Cu ₁	45 ₊₁₁	66 ₊₂₂	32 ₊₉	77 ₊₁₇
Cu ₁ -Cu ₀	-7***	-6*	-5**	-15*
	13 %	8 %	13 %	16 %

t-testillä testattu kahden keskiarvon eron merkitsevyys

* ero on melko merkitsevä

** ero on merkitsevä

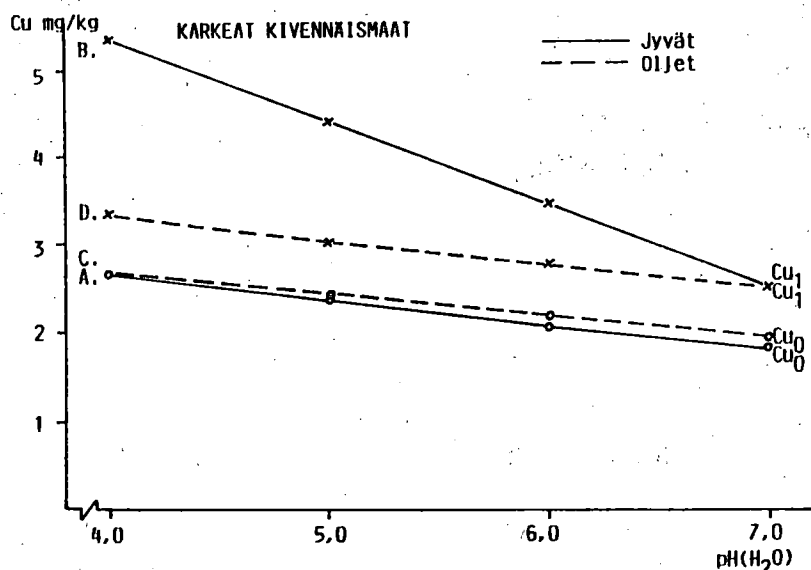
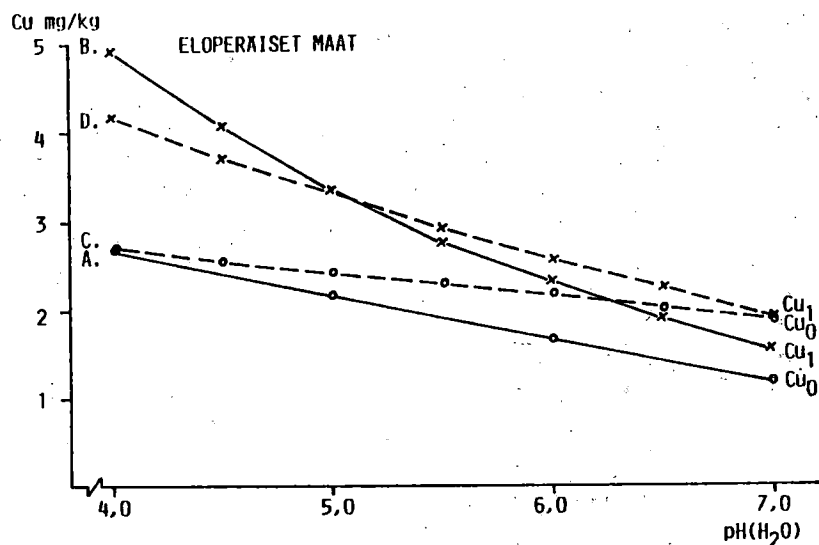
*** ero on erittäin merkitsevä



Kuva 1. Maan pH-luvun (x) vaikutus kauran jyvien ja olkien kuparipitoisuuteen (y) kuparilla lannoittamattomissa (Cu₀) ja lannoitetuissa (Cu₁) sadoissa.

Eloperäiset maat				r ²
A.	Jyvät	Cu ₀	$y = 4,6 - 0,49 \text{ pH}$	0,112 **
B.	"	Cu ₁	$\log y = 1,36 - 0,17 \text{ pH}$	0,486 ***
C.	Oljet	Cu ₀	$y = 3,6 - 0,24 \text{ pH}$	0,063 *
D.	"	Cu ₁	$\sqrt{y} = 2,9 - 0,22 \text{ pH}$	0,336 ***

Karkeat kivennäismaat				r ²
A.	Jyvät	Cu ₀	$y = 3,7 - 0,26 \text{ pH}$	0,049 *
B.	"	Cu ₁	$y = 9,2 - 0,96 \text{ pH}$	0,276 ***
C.	Oljet	Cu ₀	$y = 2,7 - 0,01 \text{ pH}$	0,015
D.	"	Cu ₁	$y = 4,5 - 0,29 \text{ pH}$	0,081 **



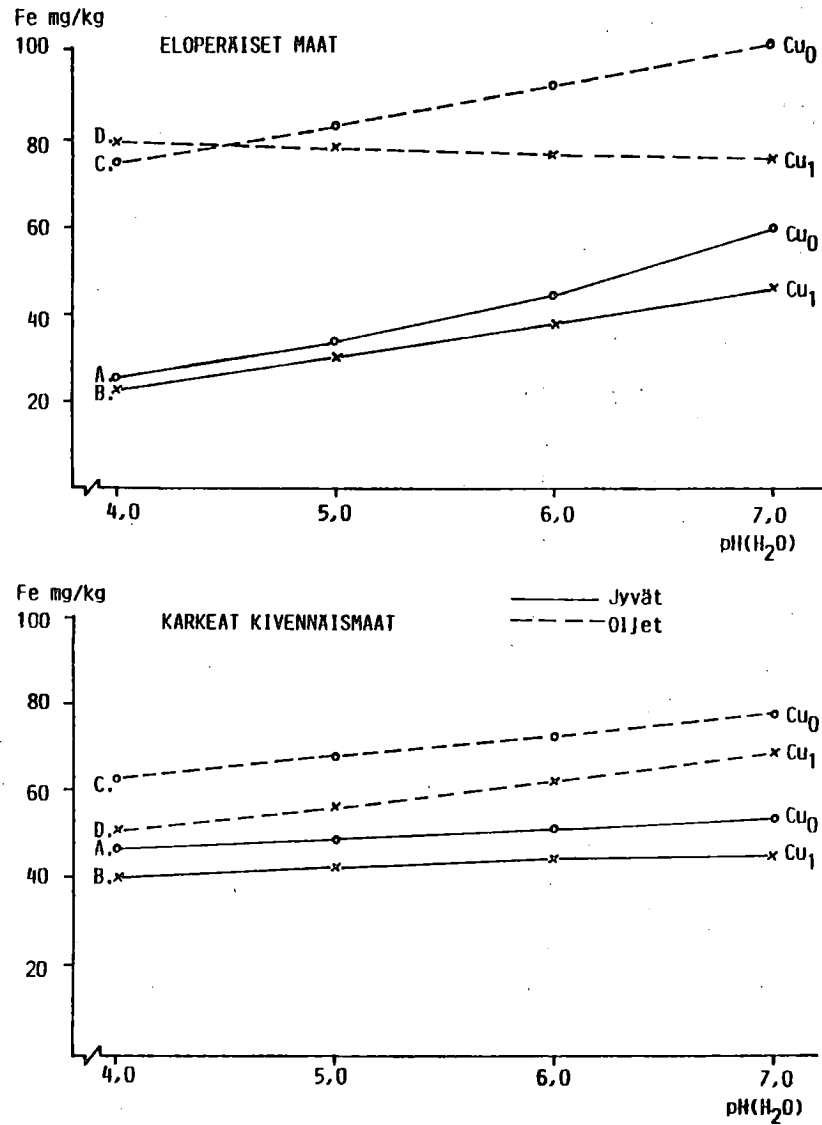
Kuva 2. Maan pH-luvun (x) vaikutus kauran jyvien ja olkien sinkkipitoisuuteen (y) kuparilla lannoittamattomissa (Cu₀) ja lannoitetuissa (Cu₁) sadoissa.

Eloperäiset maat

			r ²
A.	Jyvät Cu ₀	y = 52 - 0,3 pH	0,000
B.	" Cu ₁	y = 60 - 3,9 pH	0,251 ***
C.	Oljet Cu ₀	log y = 2,22 - 0,09 pH	0,123 *
D.	" Cu ₁	y = 133 - 15,6 pH	0,375 ***

Karkeat kivennäismaat

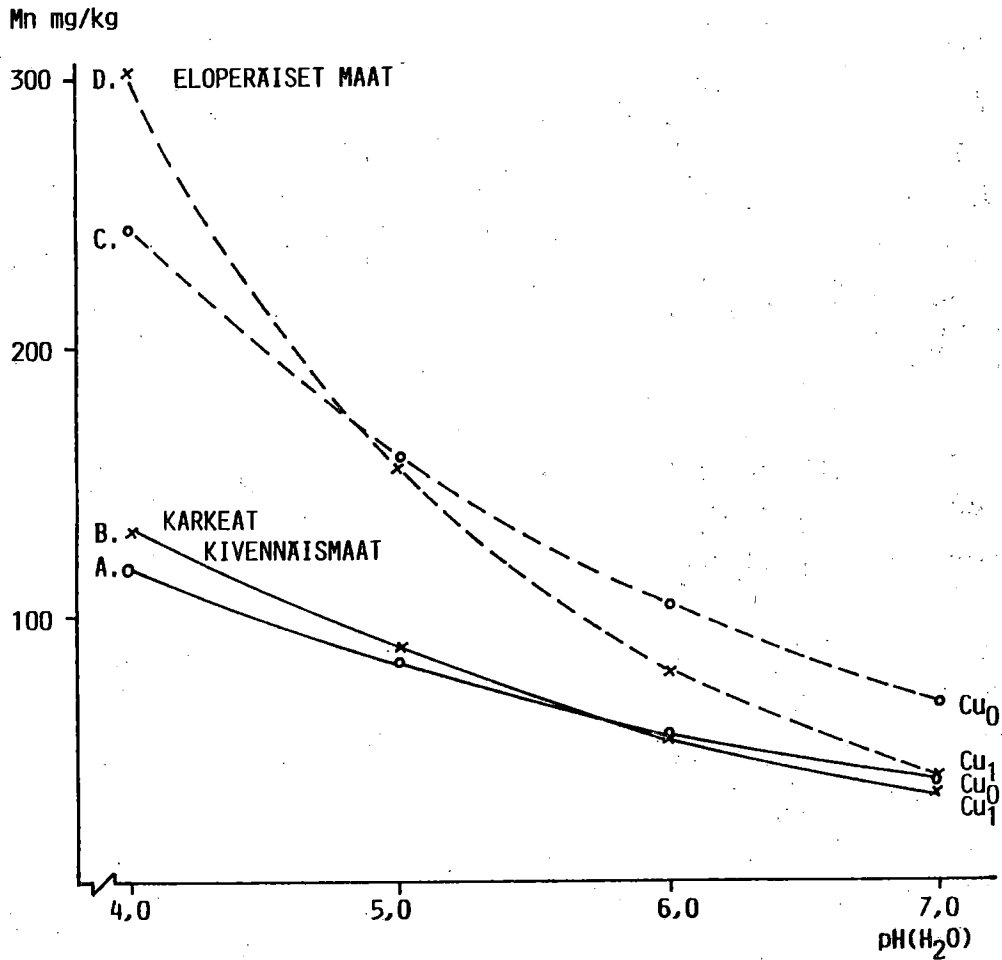
A.	Jyvät Cu ₀	y = 85 - 7,5 pH	0,112 **
B.	" Cu ₁	log y = 1,99 - 0,08 pH	0,341 ***
C.	Oljet Cu ₀	log y = 2,47 - 0,17 pH	0,319 ***
D.	" Cu ₁	log y = 2,62 - 0,19 pH	0,423 ***



Kuva 3. Maan pH-luvun (x) vaikutus kauran jyvien ja olkien rautapitoisuuteen (y) kuparilla lannoittamattomissa (Cu_0) ja lannoitetuissa (Cu_1) sadoissa.

Eloperäiset maat				r^2
A.	Jyvät	Cu_0	$\log y = 0,91 + 0,12 \text{ pH}$	0,318***
B.	"	Cu_1	$y = -7,7 + 7,6 \text{ pH}$	0,325***
C.	Oljet	Cu_0	$\log y = 1,71 + 0,04 \text{ pH}$	0,036
D.	"	Cu_1	$y = 85 - 1,4 \text{ pH}$	0,003

Karkeat kivennäismaat				r^2
A.	Jyvät	Cu_0	$\log y = 1,58 + 0,02 \text{ pH}$	0,013
B.	"	Cu_1	$\log y = 1,50 + 0,03 \text{ pH}$	0,022
C.	Oljet	Cu_0	$y = 43 + 5,0 \text{ pH}$	0,013
D.	"	Cu_1	$\log y = 1,53 + 0,04 \text{ pH}$	0,011



Kuva 4. Maan pH-luvun (x) vaikutus kauran jyvien ja olkien mangaanipitoisuuteen (y) kuparilla lannoittamattomissa (Cu₀) ja lannoitetuissa (Cu₁) sadoissa.

Eloperäiset maat			r ²
C. Oljet	Cu ₀	log y = 3,13-0,19 pH	0,259***
D. "	Cu ₁	log y = 3,66-0,30 pH	0,477***
Karkeat kivennäismaat			
C. Oljet	Cu ₀	log y = 2,72-0,16 pH	0,211***
D. "	Cu ₁	log y = 2,88-0,19 pH	0,591***

vun välinen negatiivinen vuorosuhde oli erittäin merkitsevä sekä kuparilla lannoittamattomissa että lannoitetuissa saadoissa.

Kalkituksella ja kuparilannoituksella saatetaan aiheuttaa sinkin niukkuutta kasveille, jos maan sinkkipitoisuus on jo ennestään alhainen. Kasvien kasvulliset osat näyttävät reagoivan näihin käsittelyihin selvemmin kuin siemenet. Tulokset ovat olkisatojen osalta saman suuntaiset kuin SILLANPÄÄN (1982) vehnän orailla tai KÄHÄRIN ja NISSISEN (1978) timoteilla saamat.

Kauran jyvien rautapitoisuuden positiivinen riippuvuus maan pH:sta oli eloperäisillä mailla ($r^2 = 0,32$) kiinteämpi kuin karkeilla kivennäismailla ($r^2 = 0,02$) kuparilannoituksesta riippumatta (Kuva 3). Karkeilla kivennäismailla kuparilannoituksen aiheuttama jyvien rautapitoisuuden alenema oli saman suuruinen lähes koko pH-alueella 4-7.

Maan pH-luvun noustessa sekä jyvien että olkien mangaanipitoisuus pieneni jyrkästi (Kuva 4). Kuparilannoituksella oli happamassa maassa mangaanipitoisuutta kohottava ja neutraalissa maassa pienentävä vaikutus.

5. KIRJALLISUUS

- BERGMANN, W. 1983. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 614 p. Stuttgart.
- JAAKKOLA, A., SYVÄLAHTI, J. & SAARI, E. 1982. Contents of mineral elements in Finnish cereal straw. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 54: 385-394.
- , & VOGT, P. 1978. The effect of mineral elements added to Finnish soils on the mineral contents of cereal, potato, and hay crops. 1. Calcium, magnesium, phosphorus, potassium, copper, iron, manganese, sodium and zinc. Acta Agric. Scand. Suppl. 20: 53-68.
- JEFFERY, J. J. & UREN, N. C. 1983. Copper and zinc species in the soil solution and the effects of soil pH. Aust. J. Soil Res. 21: 479-488.

- JOKINEN, R. & TÄHTINEN, H. 1987 a. Karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden kuparipitoisuus ja sen vaikutus kauran kasvuun astiakokeessa. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 17/87: 1-17.
- & TÄHTINEN, H. 1987 b. Maan kuparipitoisuuden ja happamuuden vaikutus kuparilannoituksella saatuun tulokseen astiakokeessa. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 17/87: 18-37.
- KÄHÄRI, J. & NISSINEN, H. 1978. The mineral element contents of timothy (Phleum pratense L.) in Finland. 1. The elements calcium, magnesium, phosphorus, potassium, chromium, cobalt, copper, iron, manganese, sodium and zinc. Acta Agric. Scand. Suppl. 20: 26-39.
- MCBRIDE, M. B. & BLASIAK, J. J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43: 866-870.
- MÄNTYLÄHTI, V. 1981. Determination of plant-available manganese in Finnish soils. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 53: 391-508.
- PESSI, Y., SYVÄLAHTI, V., SAARI, E. & YLÄNEN, M. 1974. Mineral content of grain yield of cereals and the effect of fertilization on it. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 46: 264-276.
- SILLANPÄÄ, M. 1982. Micronutrient and the nutrient status of soils. A global study. 444 p. Rome.

Liitetaulukko III. Kasviaineksen sinkki-, mangaani- ja rautapi-
pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta) kuparilla lannoitta-
mattomissa (Cu₀) ja lannoitetuissa (Cu₁) sadoissa.

Maa n:o	CaCO ₃ g/ast	Zn mg/kg		Jyvät Mn mg/kg		Fe mg/kg		Zn mg/kg		Oljet Mn mg/kg		Fe mg/kg	
		Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁
ELOPERÄISET MAAT													
1.	0	-	26	-	73	-	41	100	58	294	206	178	87
	5	-	40	-	75	-	28	166	52	473	221	280	74
	10	-	39	-	69	-	31	168	49	371	214	256	100
2.	0	74	45	142	136	43	36	68	69	593	591	168	134
	5	96	44	103	84	57	33	83	58	337	292	163	83
	10	-	40	-	53	-	36	84	41	177	128	178	109
3.	0	82	66	66	52	29	23	81	81	128	97	87	89
	5	57	44	70	67	26	28	82	76	215	195	100	91
	10	54	42	71	71	32	23	68	59	211	209	91	87
4.	0	44	44	55	51	24	23	75	82	81	72	93	98
	5	41	46	66	61	24	22	77	81	146	153	77	91
	10	42	38	66	70	24	24	69	74	176	177	98	103
5.	0	83	45	79	67	31	24	82	82	168	160	111	110
	5	98	45	85	70	35	24	95	73	190	167	115	91
	10	-	49	-	55	-	25	114	58	202	126	177	102
6.	0	41	45	78	77	23	24	64	71	227	229	66	67
	5	43	42	67	67	26	25	63	69	204	191	72	71
	10	42	40	53	55	29	27	58	56	112	113	71	67
7.	0	41	41	64	57	36	32	52	50	150	121	94	97
	5	42	39	48	50	35	32	43	47	54	70	85	84
	10	41	37	43	40	40	34	39	47	27	24	81	82
8.	0	40	43	76	76	29	30	60	64	269	270	70	72
	5	42	45	57	58	33	34	58	61	188	185	78	78
	10	43	44	36	31	32	32	50	52	42	37	77	93
9.	0	60	40	45	39	42	28	49	46	59	46	79	98
	5	70	35	40	31	40	29	45	42	42	26	101	88
	10	64	36	42	26	47	30	44	33	36	16	91	81
10.	0	37	37	62	62	30	25	49	49	142	130	71	69
	5	38	37	82	81	28	26	51	55	200	200	59	61
	10	35	36	85	87	28	27	46	42	238	243	57	58
11.	0	45	43	65	62	21	19	56	69	139	122	59	72
	5	42	41	84	88	24	21	72	67	253	251	72	71
	10	50	41	67	69	33	24	62	61	187	168	77	83
12.	0	40	37	68	66	32	32	35	41	144	169	86	84
	5	39	36	51	51	37	32	41	41	98	89	84	76
	10	37	36	44	45	34	33	38	35	50	52	77	78
13.	0	42	40	91	86	43	39	50	51	277	275	111	110
	5	46	45	63	65	44	45	47	46	161	167	115	114
	10	45	43	54	55	49	43	44	38	129	118	86	95
14.	0	44	44	57	57	29	28	63	68	105	96	88	74
	5	44	43	77	76	26	27	69	74	189	200	77	64
	10	39	39	82	81	29	28	62	64	235	229	64	64
15.	0	47	44	59	60	22	22	70	76	111	109	75	68
	5	43	41	74	74	25	23	60	69	186	173	59	74
	10	40	40	74	74	27	28	64	61	191	207	68	71
16.	0	76	39	73	59	35	36	52	38	157	134	108	76
	5	-	42	-	46	-	37	58	45	110	85	106	91
	10	-	41	-	43	-	34	58	47	86	64	118	99
17.	0	44	40	89	90	37	39	43	56	241	255	80	72
	5	46	41	84	81	43	38	58	54	239	221	79	66
	10	47	40	69	68	46	44	54	40	191	191	84	81
	15	44	39	65	62	49	46	36	40	184	160	103	74
18.	0	44	37	41	37	33	31	53	44	42	42	86	90
	5	62	41	35	24	38	34	42	29	20	16	67	65
	10	74	33	22	13	33	34	55	35	13	10	93	77
	15	-	40	-	15	-	38	51	37	17	11	127	101
	20	-	36	-	15	-	39	50	35	20	12	103	79
19.	0	44	41	78	80	39	37	43	48	212	221	65	70
	5	46	50	88	88	37	33	57	53	241	233	72	69
	10	55	45	81	78	44	35	45	45	215	200	103	108

Maa n:o	CaCO ₃ g/aast	Zn mg/kg		Jyvät Mn mg/kg		Fe mg/kg		Zn mg/kg		Oljet Mn mg/kg		Fe mg/kg	
		Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁
20.	0	40	40	60	59	34	33	44	45	126	127	96	104
	5	40	37	73	75	34	34	48	48	207	196	82	84
	10	40	39	86	87	34	30	43	45	214	218	72	67
	15	41	41	80	79	34	32	42	48	223	212	69	70
21.	0	45	43	91	89	23	21	80	79	259	235	71	69
	5	43	43	102	94	28	25	74	73	291	251	65	71
	10	46	42	96	98	27	25	72	72	236	253	59	66
	15	48	43	72	73	28	26	70	71	191	197	67	70
	20	51	44	53	52	29	26	73	60	112	103	86	76
22.	0	43	44	69	67	26	27	78	83	157	169	70	83
	5	42	42	71	67	28	26	83	90	179	165	78	78
	10	43	42	58	56	29	29	82	84	117	104	77	82
23.	5	42	42	87	84	26	25	62	60	218	216	90	87
	10	37	37	75	63	27	26	55	60	208	173	79	81
	15	38	44	62	52	29	30	52	55	106	103	65	78
50.	0	37	39	74	72	46	52	32	38	172	166	58	62
	4	39	37	67	67	60	59	30	25	141	133	60	58
	8	37	35	59	58	77	75	30	27	123	134	63	69
74.	0	38	34	45	42	43	39	26	23	103	92	58	50
	5	42	32	45	41	63	40	23	19	73	69	54	44
	15	38	32	42	40	53	47	20	18	61	70	56	54
75.	0	36	35	76	72	35	33	41	34	169	186	67	62
	15	52	36	54	51	56	42	30	34	84	76	72	62
78.	0	68	30	98	69	62	36	45	25	215	198	100	63
	10	-	32	-	54	-	49	53	26	124	116	151	64
	20	-	32	-	46	-	49	77	36	121	83	189	66
	25	-	31	-	46	-	49	62	29	139	82	202	71
79.	0	74	47	109	86	38	23	60	66	420	408	57	57
	5	89	41	121	67	45	22	72	58	299	258	42	55
	15	-	36	-	42	-	25	81	44	121	68	73	49
82.	0	47	27	82	68	55	33	26	29	218	181	60	58
	10	85	28	61	58	76	41	58	31	194	147	90	72
	20	-	32	-	50	-	51	46	28	112	122	138	66
83.	0	32	31	57	55	32	31	28	29	144	144	59	62
	5	40	33	53	49	45	40	30	24	147	105	61	58
	15	48	30	49	43	56	37	23	21	79	65	68	53
85.	0	-	47	-	43	-	21	99	54	219	147	83	51
	10	57	32	78	66	43	28	62	44	173	156	69	57
	20	82	28	87	56	60	28	86	38	167	127	82	61
	30	-	28	-	53	-	32	73	34	167	103	76	67
87.	0	-	53	-	60	-	23	123	44	192	109	-	89
	10	50	31	78	76	42	30	32	34	173	144	87	94
	20	37	32	79	80	41	31	33	34	285	229	93	96
KARKEAT KIVENNAISMAAT													
28.	0	37	33	57	65	52	54	33	29	109	116	77	77
	2	34	32	60	53	56	51	27	28	107	89	75	84
	6	32	27	50	58	48	57	24	22	67	90	67	79
29.	0	44	36	144	140	42	33	80	90	661	706	83	78
	3	58	32	83	72	54	34	48	49	289	304	69	66
	7	57	26	64	58	60	38	30	24	177	192	78	44
30.	0	24	24	32	31	46	45	15	19	33	28	67	77
	2	24	24	30	30	46	41	19	22	18	17	73	64
	6	23	22	30	33	43	44	31	21	17	23	54	60
31.	0	36	37	73	73	44	44	25	30	267	251	59	61
	5	34	34	48	49	39	39	38	30	110	114	60	63
	9	32	31	39	41	41	40	33	25	62	72	71	70
33.	0	33	29	68	64	40	32	30	29	224	192	43	43
	3	37	26	54	54	43	35	31	28	135	135	52	45
	7	33	32	48	47	46	35	30	24	80	86	45	54

Maa n:o	CaCO ₃ g/ast		Zn mg/kg		Jyvät Mn mg/kg		Fe mg/kg		Zn mg/kg		Oljet Mn mg/kg		Fe mg/kg	
	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁	Cu ₀	Cu ₁
34.	0	31	32	73	68	40	36	29	30	230	236	51	51	
	4	30	31	57	59	36	38	26	26	179	190	44	46	
	6	30	28	54	54	39	36	25	21	182	164	48	43	
	10	28	28	46	49	37	38	17	29	118	134	44	50	
35.	0	43	39	56	56	49	43	45	41	136	141	67	65	
	5	39	35	43	44	50	45	31	38	59	63	72	65	
39.	0	42	25	52	46	66	45	25	26	60	61	69	59	
	5	27	20	54	43	60	47	23	18	55	46	79	59	
41.	0	36	33	61	62	41	42	46	45	177	211	61	67	
	3	34	41	46	43	46	38	40	42	89	74	70	67	
	7	30	27	36	36	45	40	31	28	29	28	71	75	
42.	0	31	33	100	115	37	40	45	52	460	531	63	65	
	4	29	31	79	82	39	46	52	44	305	330	62	88	
	8	30	28	68	77	40	45	36	38	264	279	58	73	
43.	0	50	32	91	86	56	36	38	37	309	301	67	58	
	4	70	36	83	67	58	40	48	49	247	244	73	62	
	6	61	33	76	67	53	45	47	38	221	206	73	63	
	10	66	33	73	61	63	45	39	29	167	161	78	69	
45.	0	41	37	61	60	48	56	42	34	177	166	67	63	
	5	39	31	44	41	48	48	30	31	65	64	72	61	
46.	0	35	27	39	32	44	38	19	22	33	24	60	49	
	2	36	26	36	31	50	39	22	19	26	17	55	47	
	6	44	25	35	27	52	41	17	15	13	8	57	41	
47.	0	32	29	68	64	40	34	30	30	229	222	67	62	
	4	30	30	55	56	38	37	26	27	172	188	61	65	
	8	28	27	53	54	42	41	21	23	159	178	58	49	
48.	0	49	42	80	76	76	75	35	43	163	176	56	53	
	2	47	40	70	67	76	74	34	34	113	117	67	54	
	6	46	36	66	58	65	73	33	32	97	67	64	61	
51.	0	52	31	79	71	52	37	34	31	221	207	59	47	
	4	69	32	72	60	62	42	37	36	176	166	64	50	
	6	75	30	76	56	69	44	36	29	163	150	69	49	
	10	63	29	67	52	60	45	30	21	142	121	65	53	
52.	0	36	34	88	87	45	43	47	46	331	333	59	58	
	4	38	38	54	59	48	48	47	45	165	192	65	60	
	8	36	32	45	41	45	40	40	38	98	66	64	70	
53.	0	57	44	115	86	78	74	25	22	298	283	82	62	
	5	58	31	88	64	66	41	28	23	192	190	60	54	
	9	61	27	67	57	53	46	27	19	161	166	69	53	
54.	0	33	33	79	89	42	40	48	44	316	324	59	63	
	4	33	33	54	54	39	42	42	43	150	156	59	60	
	8	30	28	39	38	42	36	36	31	47	41	57	56	
55.	0	39	33	92	86	39	33	49	45	360	334	82	84	
	4	67	32	83	79	54	35	45	43	281	265	103	47	
	6	77	34	75	71	61	41	45	41	211	244	105	100	
	10	80	32	64	56	63	39	36	32	136	145	106	78	
56.	0	46	45	90	90	52	54	37	33	395	363	56	48	
	4	42	41	85	84	49	48	39	34	382	361	47	42	
	6	43	39	81	82	49	52	35	37	379	336	49	42	
	10	40	36	67	70	47	47	35	28	274	250	49	43	
57.	0	42	31	61	55	94	99	18	19	136	131	136	162	
	2	41	29	58	51	101	73	21	19	113	109	225	157	
	6	42	28	55	45	97	78	17	16	86	73	185	125	
58.	0	34	32	59	57	37	34	41	46	187	184	70	72	
	4	38	33	46	47	43	38	39	38	118	128	63	74	
	8	33	29	43	36	43	35	29	29	75	52	66	68	

Maa n:o	CaCO ₃ g/ast		Zn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Jyvät Mn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Fe mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Zn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Oljet Mn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Fe mg/kg Cu ₀ Cu ₁	
59.	0	32	31	52	52	34	35	41	38	117	132	62	74	
	3	27	27	35	34	36	38	27	25	33	33	60	59	
	7	24	23	23	26	42	35	18	16	7	10	66	66	
60.	0	45	41	71	74	45	44	39	42	210	223	95	89	
	4	49	46	57	56	49	48	32	33	150	156	86	82	
	8	45	37	50	48	48	47	27	27	120	107	83	72	
61.	0	48	32	59	53	52	40	50	46	133	124	77	72	
	5	51	28	48	34	53	27	41	29	47	31	67	64	
62.	0	54	51	69	64	46	45	20	56	204	192	55	54	
	5	51	44	76	79	48	41	69	48	292	284	57	52	
	9	51	42	71	66	58	45	41	33	280	258	68	66	
63.	0	37	38	66	66	60	58	42	40	198	185	68	63	
	5	39	31	74	77	57	46	37	33	269	233	74	68	
	9	36	31	67	68	65	45	32	33	212	232	88	70	
64.	0	35	29	69	65	46	46	34	25	184	170	72	62	
	4	35	29	60	54	49	39	25	27	129	122	64	62	
	8	30	26	52	48	48	40	22	23	108	98	63	57	
65.	0	57	34	65	54	54	37	42	42	141	147	77	90	
	4	56	30	73	76	54	39	44	35	215	218	84	70	
	8	62	27	75	65	57	37	32	23	216	208	81	66	
66.	0	37	41	72	70	40	36	38	42	237	240	82	63	
	3	33	28	62	59	48	37	42	34	226	192	70	58	
	7	29	26	55	50	49	38	27	24	176	151	63	57	
67.	0	39	33	68	66	63	50	31	28	181	196	89	72	
	5	35	28	50	46	64	62	20	18	99	92	83	81	
69.	0	42	37	75	68	48	43	27	28	214	204	72	74	
	2	41	36	61	55	49	41	23	28	132	128	69	75	
	6	38	33	48	44	51	44	22	21	57	53	68	67	
70.	0	39	40	69	72	51	50	27	29	197	199	82	79	
	2	40	40	63	61	61	53	26	27	149	140	86	74	
	6	41	35	52	53	65	46	23	25	99	113	87	85	
71.	0	30	29	70	70	38	35	24	27	214	209	47	49	
	3	32	33	61	61	45	41	29	40	177	168	53	47	
	7	38	35	55	57	48	44	40	43	160	156	51	54	
72.	0	33	39	77	79	47	37	39	44	258	268	73	70	
	4	38	31	67	65	46	36	46	45	248	221	73	67	
	8	40	33	61	62	48	41	53	49	212	211	73	65	
73.	0	39	33	65	62	46	40	66	52	152	140	58	57	
	3	40	29	54	52	55	46	29	30	105	100	71	51	
	7	41	25	50	45	55	41	22	19	87	80	58	49	
77.	0	44	32	82	68	72	73	31	30	207	191	93	102	
	2	43	29	71	61	80	72	19	19	155	159	107	119	
	6	34	25	65	55	81	64	17	11	140	123	111	84	
80.	0	43	44	74	74	38	35	74	75	131	120	63	56	
	5	36	34	50	53	38	39	36	45	68	77	64	64	
	9	38	36	47	42	47	38	43	26	46	42	63	53	
84.	0	28	24	50	45	58	50	24	18	69	56	69	63	
	5	22	20	46	41	54	49	16	18	44	34	63	57	
86.	0	39	37	71	67	58	46	33	32	125	112	73	60	
	5	51	36	70	65	68	45	32	35	112	110	58	57	
	9	57	35	58	55	65	40	33	36	80	92	72	67	
88.	0	34	33	74	73	48	56	23	27	193	179	78	79	
	2	31	31	62	63	51	49	22	19	136	140	72	77	
	6	29	26	49	50	48	50	15	13	75	79	71	71	

Maa n:o	0,5M H ₂ SO ₄ ml/ast		Zn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Jyvät Mn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Fe mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Zn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Oljet Mn mg/kg Cu ₀ Cu ₁		Fe mg/kg Cu ₀ Cu ₁	
40.	0	33	26	40	25	55	48	19	14	35	24	110	90	
	40	36	25	41	33	57	48	15	14	46	42	92	93	
	80	34	28	40	37	55	46	17	15	79	68	99	90	
49.	0	41	37	29	27	54	48	21	20	20	18	80	82	
	40	43	40	31	34	51	50	22	22	40	43	86	79	
	80	46	42	41	42	52	48	26	25	76	77	83	92	

KAURA- JA OHRALAJIKKEIDEN HERKKYYS KUPARIN PUUTTEELLE JA ERI
KUPARIMÄÄRILLÄ SAADUT TULOKSET

	Sivu
Sisällysluettelo	
1. TIIVISTELMÄ	48
2. JOHDANTO	49
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	50
4. TULOKSET	52
5. TARKASTELU	59
6. KIRJALLISUUS	61

1. TIIVISTELMÄ

Yksivuotisessa astiakokeessa niukkakuparisella (0,37 mg/l Cu, happamaan ammoniumasetatti-EDTA:han uuttuvaa) turvemaalla yksikään ohralajike (Hja 673, Kajsa, Oтра, Paavo, Aapo, Pirkka, Pomo) ei tuottanut jyväsatoa.

Kuparilannoitukseen (0,5, 1, 2, 10, 50 tai 100 mg/ast Cu vastaa 0,22, 0,44, 0,88, 4,4, 22 tai 44 kg/ha, 20 cm) reagoivat kuparia vähän tarvitsevat lajikkeet pienemmällä lannoitemäärillä kuin vaateliaat lajikkeet. Runsaan jyväsadon tuottamiseen tarvitsivat Kajsa- ja Aapo-ohrat sekä Tiitus-kaura muita enemmän kuparia. Nämä lajikkeet reagoivat muita herkemmin liian suureenkin kuparimäärään, jolloin sekä jyvä- että olkisato vähenivät.

Pienillä kuparilannoitemäärillä ohrien ja kaurojen jyvät sisälsivät lähes saman määrän kuparia (noin 1 mg/kg). Runsas kuparilannoitus kohotti ohrien kuparipitoisuuden noin kaksinkertaiseksi kauroihin verrattuna.

Kuparin suhteen vaatelioiden lajikkeiden koko sadon mukana poistui maasta vähemmän kuparia kuin vaatimattomien lajikkeiden sadoissa kasvilajista riippumatta. Ohrien sadot ottivat yleensä kuparia huomattavasti enemmän kuin kaurojen.

Kuparin suhteen vaateliaat lajikkeet näyttivät olevan aikaisia, jyvien luontainen valkuaispitoisuus oli korkea ja niiden juuriston fysiologinen aktiivisuus saattaa olla muita alhaisempi. Vähän kuparia sisältävillä mailla tulisi viljellä kuparin suhteen vaatimattomia lajikkeita.

Eläinten rehuksi sopinevat parhaiten lajikkeet, jotka tuottavat korkean kuparipitoisuuden omaavaa satoa jo kohtalaisella kuparilannoituksella.

2. JOHDANTO

Runsassatoiset viljalajikkeet on jalostettu vastaamaan tehokkaan viljelyn vaatimuksia. Voimakkaalla typpilannoituksella tuotettu suuri jyväsato ja sen korkea valkuaispitoisuus aiheuttavat kasvien kuparin tarpeen lisääntymisen, sillä kuparilla on tärkeä tehtävä valkuaisaineiden ja hiilihydraattien synteesiin osallistuvien entsyymien aktivoijana. Vaatelioiden lajikkeiden viljelyssä saattaa sen vuoksi korostua maan sisältämän kasveille käyttökelpoisen kuparin riittävyys.

Kuparin puute rajoittaa viljojen jyväsadon muodostumista selvästi voimakkaammin kuin olkisadon, sillä siitepölyn tuotanto on vähäistä ja osa siitepölystä on steriiliä (GRAHAM 1975). Muutamat tutkijat ovat todenneet saman viljalajin eri lajikkeiden välillä eroja niiden kyvyssä sietää kuparin puutetta (mm. SMILDE ja HENKENS 1967, NAMBIAR 1967, TÄHTINEN 1978). Suomessa turvemaiden ja karkeiden kivennäismaiden kuparipitoisuus on alhainen (SIPPOLA ja TARES 1978, KURKI 1982), mikä saattaa rajoittaa vaatelioiden lajikkeiden viljelyä, ellei kuparilannoitusta anneta.

SCHARRERin ja SCHAUMLÖFFELin (1960) ja TÄHTISEN (1978) mukaan viljojen kuparin saanti on riittävä, jos jyväsadon ottama kuparimäärä on suurempi kuin olkisadon ottama. Piilevän kuparin puutteen arviointi kasvukauden aikana kasviaineksen kuparipitoisuuden perusteella on epävarmaa, koska eri kasvien ja saman kasvin eri osien kuparipitoisuudet vaihtelevat laajoissa rajoissa (YLÄRANTA ja SILLANPÄÄ 1984). Ajankohta, jolloin kuparin puutteen ulkoiset oireet ilmenevät kasvissa, on usein jo liian myöhäinen siemensadon saannin varmistamiseen lannoituksella.

Tämän astiakokeena tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää muutamien 1970-luvun lopulla Suomessa viljeltyjen kaura- ja ohralajikkeiden kykyä tuottaa satoa niukkakuparilla turvemaalla sekä kummankin viljalajin eri lajikkeiden

kuparilannoituksen tarvetta. Kasvien herkkyys kuparin puutteelle ja lannoituksen tarve arvioitiin jyväsadon määrän, kuparipitoisuuden ja kuparin oton perusteella.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Astiakokeessa oli viljojen kasvualustana vähän kuparia (0,37 mg/l maata) sisältävä hapan (pH(H₂O) 4,0) saraturve. Kosteaa maata punnittiin kuuden litran muoviastioihin 3,4 kg (0,9 kg kuiva-ainetta), maat kalkittiin kalsiumkarbonaatilla (lab. reag.) lähelle kuutta ja lannoitettiin seuraavilla astiaa kohti ilmoitettavilla ravinnemäärillä: 1000 mg N (NH₄NO₃), 400 mg P (Ca(H₂PO₄)₂·H₂O), 1500 mg K (K₂SO₄), 200 mg Mg (MgSO₄·7H₂O), 5 mg B (H₃BO₃), 10 mg Zn (ZnSO₄·7H₂O), 10 mg Mn (MnSO₄·4H₂O), 1 mg Mo (Na₂MoO₄·2H₂O) ja 10 mg Fe (Fe-EDTA). Kuparilannoitus 0 (Cu 0), 0,5 (Cu 0,5), 1 (Cu 1), 2 (Cu 2), 10 (Cu 10), 50 (Cu 50) tai 100 (Cu 100) mg/astia Cu, CuSO₄·5H₂O:na, sekoitettiin koko maaerään samanaikaisesti muiden lannoitusten ja kalkituksen kanssa.

Tutkittavat kauralajikkeet olivat: Hannes, Orion III, Pendek, Puhti, Ryhti, Tiitus ja Kalott sekä ohralajikkeet: Hja 673, Kajsa, Otra, Paavo, Aapo, Pirkka ja Pomo (Taulukko 1). Ohrista Kajsa ja Pirkka sekä kauroista Tiitus ovat muita korkeamman valkuaispitoisuuden omaavia lajikkeita. Astiaa kohti kylvettiin 25 jyvää eikä kasvustoja harvennettu orastumisen jälkeen. Kokeessa oli kaksi kerrannetta eli astioita yhteensä 196. Koe oli yksivuotinen.

Viljojen sato korjattiin tuleentuneena, kuivatettiin 105 °C yli yön ja punnittiin. Jyvien ja olkien kuparipitoisuus määritettiin kuivapoltoilla (450 °C) saadun tuhkan 2 M HCl-uutteesta atomiabsorptiospektrofotometrillä (Varian 1200). Jyvän paino määritettiin neljän 100 jyvän erän perusteella.

Maan kupari uutettiin happamalla (pH 4,65) ammoniumasetaatti-EDTA:lla huiskuttamalla tilavuussuhteessa 1:10 valmistettua maa:neste seosta yksi tunti (LAKANEN ja ERVIÖ 1971). Suodatetun uutteen kuparipitoisuus määritettiin kuten kasvinäytteidenkin.

Taulukko 1. Kaura- ja ohralajikkeiden kasvuaika (pv) ja jyvien suhteellinen valkuaispitoisuus (maksimi 9).

	Kasvuaika pv	Suhteellinen valkuaispit.	Kuoren väri
Kaurat			
Hannes (Hja) ¹⁾	97	8,5	valk.
Orion III (Sv)	94	8,0	ruskea
Pendek (CB)	98	8,5	valk.
Puhti (Jo)	98	8,5	valk.
Ryhti (Jo)	101	8,5	valk.
Tiitus (Jo)	95	9,0	valk.
Kalott (Sv)	89	8,5	ruskea
			Tähkän tyyppi ²⁾
Ohrat			
Hja 673 (Hja)	85	8,0	M
Kajsa (Sv)	88	9,0	M
Otra (Hja)	84	8,5	M
Paavo (Jo)	90	8,0	M
Aapo (Hja)	98	8,0	K
Pirkka (Hja)	87	9,0	M
Pomo (Jo)	91	8,5	M

1) Hja = Hankkijan Kasvinjalostuslaitos
 Sv = Sveriges utsädesförening, Svalöf, Ruotsi
 Jo = Maatalouden tutkimuskeskus, kasvinjalostusosasto
 CB = Cebeco, Hollanti

2) M = monitahoinen
 K = kaksitahoinen

Koska kokeessa oli vain kaksi kerrannetta, käsittelyiden välisiä eroja yhden lajikkeen sisällä ei testattu. Kuparilannoitemäärien vaikutuksia satojen ominaisuuksiin tutkittiin lineaarisella tai logaritmisella korrelaatio- ja regressioanalyysillä. Näistä paremman selittävyys antaneen analyysin tulokset esitetään.

4. TULOKSET

Ilman kuparilannoitusta ohralajikkeet eivät tuottaneet jyvä-satoa, kauralajikkeista Puhti ja Ryhti antoivat muutaman jyvän (Taulukko 2). Pienin kuparimäärä (Cu 0,5 = 0,22 kg/ha, 20 cm) oli kauralajikkeille, lukuunottamatta Hannesta, riittävä vähäisen jyväsadon tuottamiseen. Ohralajikkeista Kajsa, Aapo ja Pomo jäivät ilman jyväsatoa. Neljä jyviä tuottanutta ohralajiketta antoivat jonkin verran suuremman sadon (10,2-14,5 g/ast) kuin vastaavat kauralajikkeet (0,1-10,7 g/ast).

Lannoitemäärällä Cu 1 jyviä tuottaneista kauraista saatiin satoa keskimäärin 13,5 g/ast ja ohrista 23,2 g/ast. Kummankin kasvilajin eri lajikkeiden välinen jyväsatojen vaihtelu oli suuri. Vielä lannoitemäärä Cu 2:kaan ei riittänyt tasoittamaan viljalajien ja eri lajikkeiden välisiä eroja. Monitahoinen ohralajike Kajsa, kaksitahoinen Aapo ja kauralajike Tiitus olivat vaateliaimmat kuparin suhteen. Kuparimäärällä Cu 10 saatiin useimmista lajikkeista niiden suurin jyväsato.

Liian suurina kerralla annettavina kuparimäärinä pidettävistä Cu 50 ja Cu 100 edellinen oli useimmille ohrille vielä edullinen ja suurin kuparimäärä aiheutti vain kahden ohralajikkeen (Kajsa ja Aapo) samoin kuin kahden kauralajikkeen (Orion III ja Tiitus) jyväsadon vähenemisen.

Ilman kuparilannoitusta muutaman jyvän tuottaneet kaurat Puhti ja Ryhti kasvattivat erittäin runsaan olkisadon (Taulukko 2). Olkisadon osuus koko sadosta oli kaurilla edelleen korkea Cu 2 -tasolla, vaikka suurin olkisato saatiinkin jo sitä pienemmällä kuparimäärillä. Useimpien kauralajikkeiden olkisato väheni sitä mukaa kuin kuparilannoitemäärää kohotettiin.

Taulukko 2. Kuparilannoitemäärien vaikutus kaura- ja ohralajikkeiden satoon (g/ast).

Cu mg/ast	Kaurat						
	Hannes	Orion	Pendek	Puhti	Ryhti	Tiitus	Kalott
	<u>Jyväsat</u>						
0	-	-	-	0,1	0,5	-	-
0,5	-	2,2	0,1	1,0	10,5	1,0	0,8
1	4,2	3,9	8,3	22,5	27,7	9,6	18,2
2	27,1	32,1	24,0	37,1	38,3	13,9	39,9
10	41,0	40,7	48,1	47,1	44,0	36,9	38,4
50	40,8	39,1	44,7	43,6	42,3	37,0	36,9
100	41,3	37,2	47,8	44,9	43,8	32,4	39,2
	<u>Olkisato</u>						
0	58,0	21,6	48,6	61,6	63,1	37,3	32,6
0,5	59,4	65,5	60,3	66,3	58,1	69,8	59,3
1	61,1	69,6	65,3	60,0	57,4	62,5	57,3
2	55,9	55,2	58,3	60,1	51,8	53,4	48,2
10	49,1	51,5	51,3	57,3	57,9	48,8	47,5
50	48,1	52,1	47,9	55,1	50,2	47,1	52,3
100	48,1	48,6	49,2	53,0	52,9	44,5	49,4
	<u>Ohrat</u>						
	Hja 673	Kajsa	Otra	Paavo	Aapo	Pirkka	Pomo
	<u>Jyväsat</u>						
0	-	-	-	-	-	-	-
0,5	9,2	-	14,5	9,2	-	9,7	-
1	23,1	10,0	29,2	31,4	-	28,5	17,4
2	38,0	28,4	41,0	42,8	7,7	38,8	33,4
10	45,4	45,5	48,0	49,4	45,2	43,1	40,9
50	46,5	42,5	46,8	52,0	45,8	43,1	42,1
100	44,1	37,0	48,3	48,8	42,6	46,5	40,5
	<u>Olkisato</u>						
0	17,4	9,3	32,9	20,3	7,0	53,7	22,0
0,5	35,2	47,1	40,2	40,0	25,4	51,3	38,9
1	33,7	49,1	38,9	40,4	27,9	46,7	38,2
2	40,7	42,4	43,9	43,0	51,5	49,4	36,7
10	43,5	48,8	46,2	45,8	87,8	49,5	39,6
50	43,8	47,6	45,4	47,8	86,5	49,2	39,9
100	43,5	50,5	47,9	47,4	81,2	53,4	41,3

Jyväsadon perusteella vaateliaiksi todettujen ohralajikkeiden olkisato jäi pieneksi ilman kuparilannoitusta. Lisääntynyt kuparin saanti (Cu 1 - Cu 100) ei vaikuttanut ohrien olkisatoon yhtä selvästi kuin kaurajen, poikkeuksena Aapo-ohran lisääntyvä olkisato.

Kauralajikkeiden jyvän paino oli yleensä korkein pienillä kuparimäärillä (Cu 2 tai alle) tuotetuissa sadoissa ja jyvien paino väheni jonkin verran sadon lisääntyessä (Taulukko 3). Ohrista saatiin suurimmat jyvät melko runsaalla kuparilannoituksella (Cu 10 tai yli).

Taulukko 3. Kuparilannoitemäärien vaikutus kaura- ja ohralajikkeiden jyvän painoon (mg).

Kaurat							
Cu mg/ast	Hannes	Orion	Pendek	Puhti	Ryhti	Tiitus	Kalott
0	-	-	-	20,3	25,2	-	-
0,5	-	-	18,2	19,2	34,7	25,1	13,9
1	-	-	29,0	38,0	34,7	34,7	31,2
2	37,1	38,3	29,1	38,2	34,3	31,3	29,9
10	31,9	37,5	27,9	34,0	31,3	31,1	29,2
50	31,5	34,1	31,0	32,7	33,2	31,3	29,1
100	32,0	31,8	29,9	34,2	34,2	32,3	27,6

Ohrat							
	Hja 673	Kajsa	Otra	Paavo	Aapo	Pirkka	Pomo
0	-	-	-	-	-	-	-
0,5	-	-	17,5	15,4	-	18,8	-
1	18,8	19,1	17,2	20,3	-	24,7	25,2
2	26,6	23,7	22,9	24,7	-	31,5	30,3
10	29,1	27,5	26,3	26,8	35,8	32,7	36,3
50	24,7	32,6	28,5	26,7	36,1	35,0	32,6
100	25,1	30,7	28,6	27,5	32,6	33,0	32,3

Kummankin viljan jyvien kuparipitoisuus kohosi vain lievästi lannoitemäärään Cu 10 asti, minkä jälkeen pitoisuuden nousu oli ohralajikkeiden jyvissä jyrkempi kuin kauralajikkeiden (Taulukko 4). Suurilla kuparimäärillä tuotetut ohrien jyvät sisälsivät kuparia lähes kaksinkertaisen määrän kauroihin verrattuna. Kummallakin viljalajilla jyvien kuparipitoisuuden nousu oli vasta sen jälkeen selvin, kun sadon maksimi oli saavutettu. Olkien kuparipitoisuus oli ohrilla ilman kuparilannoitusta jonkin verran lannoitettuja korkeampi ja ero oli selvin vaateliailla lajikkeilla. Kauroissa vastaava pitoisuuden alenema oli suurin Tiitus-lajikkeella.

Kaurojen jyväsadon ottama kuparimäärä jäi useimmiten olkisadon ottamaa pienemmäksi (Kuva 1). Ohrilla se kohosi olkia suuremmaksi lähes aina jo kuparimäärän Cu 10 tienoilla (Kuva 2). Kohtalaisesta kuparimäärästä (Cu 10) ottivat kuparia vähiten Kajsa- ja Aapo-ohrien sekä Pendek-kauran jyväsadot ja eniten Pomo-ohran ja Orion III -kauran jyväsadot. Suurimmasta kuparimäärästä (Cu 100) ottivat kuparia vähiten edelleen samat ohrat kuin edelläkin samoin kuin Tiitus-kauran jyvät. Eniten kuparia ottivat Kalott-kaura ja Pirkka-ohra.

Kuparilannoitemäärän lisäämisen myötä sekä kaurojen että ohrien keskimääräinen jyväsato lisääntyi ja saavutti maksimin lähes samalla kuparimäärällä (Kuva 3). Kaurojen olkisato lisääntyi aluksi pienillä kuparimäärillä, kääntyi sitten jyrkkään laskuun ja pysyi jyväsadon maksimikohdan jälkeen lähes muuttumattomana. Ohrilla olkisadon muutokset olivat vain lievästi kaurojen olkisadon suuntaiset.

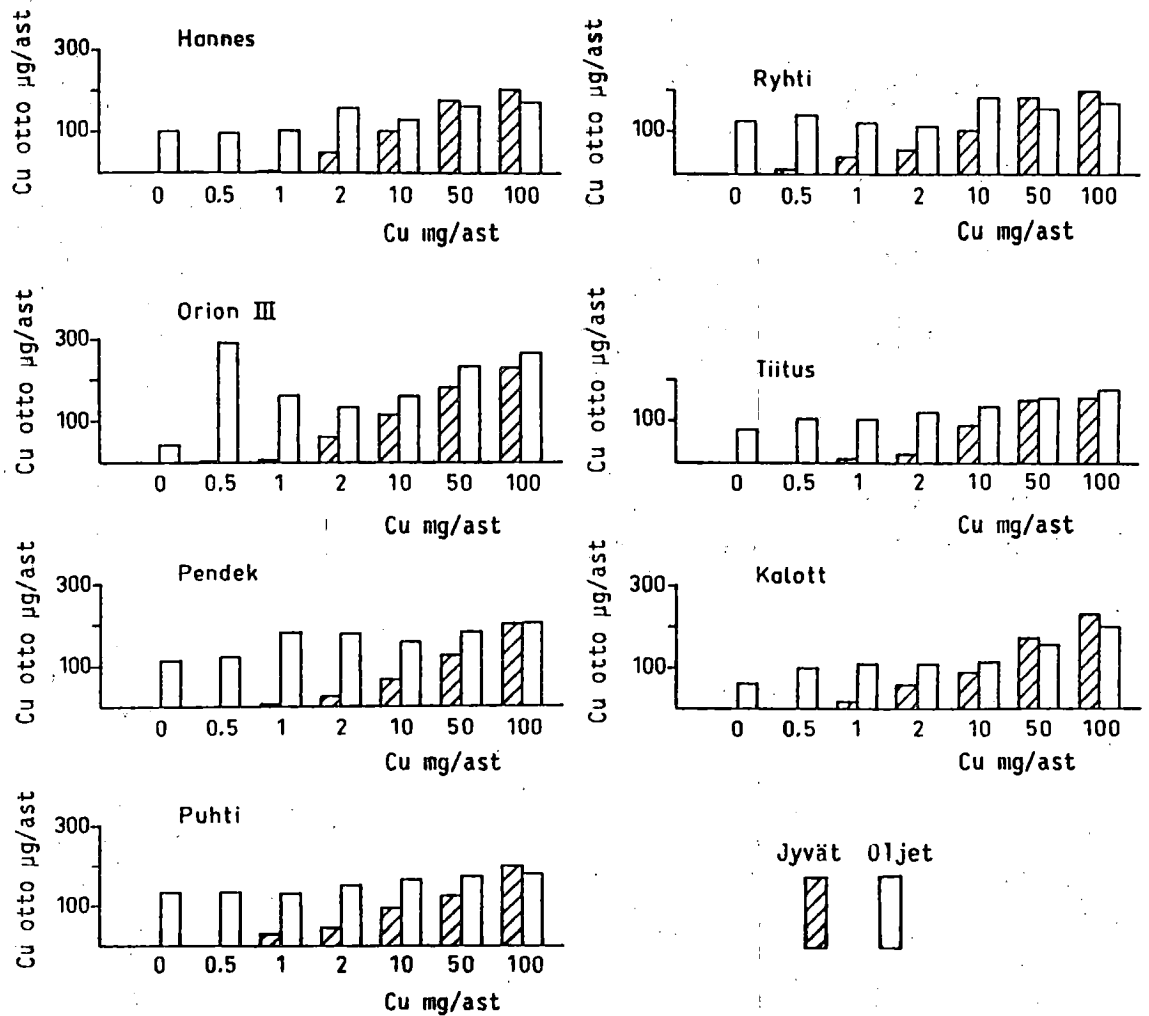
Kauran jyvien ja olkien samoin kuin ohran olkien ottama kuparimäärä oli lähes muuttumaton pienillä kuparilannoitemäärillä tapahtuneen jyrkän nousun jälkeen (Kuva 3). Ohrien jyväsadon kuparin otto kasvoi lannoitemäärää lisättäessä.

Koko aineistossa kaurojen jyväsadon riippuvuus kuparilannoituksen määrästä ($\log x$) oli hieman kiinteämpi kuin ohrien jyväsadon (Taulukko 5). Kaurojen olkisadon väheneminen oli selvemässä vuorosuhteessa lisätyn kuparin määrään kuin vastaava ohran olkisadon lisääntyminen. Kummankin viljalajin jyvien ja olkien kuparipitoisuus kohosi lineaarisesti lannoit-

Taulukko 4. Kuparilannoitemäärien vaikutus kaura- ja ohralajikkeiden jyvien ja olkien kuparipitoisuuteen (mg/kg kuiva-ainetta).

Kaurat							
Cu mg/ast	Hannes	Orion	Pendek	Puhti	Ryhti	Tiitus	Kalott
Jyvät							
0	-	-	-	-	-	-	-
0,5	-	1,0	-	0,6	1,1	1,0	1,5
1	1,1	1,1	0,9	1,4	1,4	1,5	1,1
2	1,8	1,8	1,1	1,3	1,4	1,6	1,5
10	2,5	2,7	1,4	2,0	2,4	2,5	2,3
50	4,3	4,7	2,7	2,9	4,2	4,1	4,8
100	4,9	6,1	4,2	4,5	4,5	4,9	5,9
Oljet							
0	1,7	2,1	2,3	2,2	2,0	2,2	1,8
0,5	1,6	3,0	2,0	2,1	2,4	1,5	1,6
1	1,7	2,3	2,8	2,2	2,3	1,7	1,9
2	2,8	2,4	3,0	2,5	2,2	2,3	2,2
10	2,6	3,1	3,1	2,9	3,1	2,8	2,4
50	3,4	4,4	3,8	3,2	3,1	3,3	3,0
100	3,5	5,4	4,1	3,4	3,2	3,9	4,0
Ohrat							
	Hja 673	Kajsa	Otra	Paavo	Aapo	Pirkka	Pomo
Jyvät							
0	-	-	-	-	-	-	-
0,5	1,2	-	0,8	0,8	-	0,5	-
1	1,1	1,1	1,2	0,8	-	0,8	0,8
2	1,2	1,0	1,1	1,2	1,5	1,4	1,4
10	2,9	2,5	2,6	2,7	1,3	3,9	4,1
50	7,1	5,9	4,3	7,5	2,9	8,6	7,7
100	9,0	8,3	8,6	9,0	4,8	10,2	9,3
Oljet							
0	3,1	3,9	2,6	3,7	3,6	3,0	3,2
0,5	2,3	2,1	2,2	2,6	3,1	1,9	2,2
1	3,1	2,2	2,3	3,3	2,4	2,2	2,3
2	2,1	2,1	2,1	2,7	2,3	2,3	2,7
10	2,7	2,8	2,9	3,6	3,0	3,2	3,5
50	3,8	4,0	4,3	4,8	3,9	4,5	4,5
100	4,7	4,5	6,0	5,1	4,3	5,6	5,3

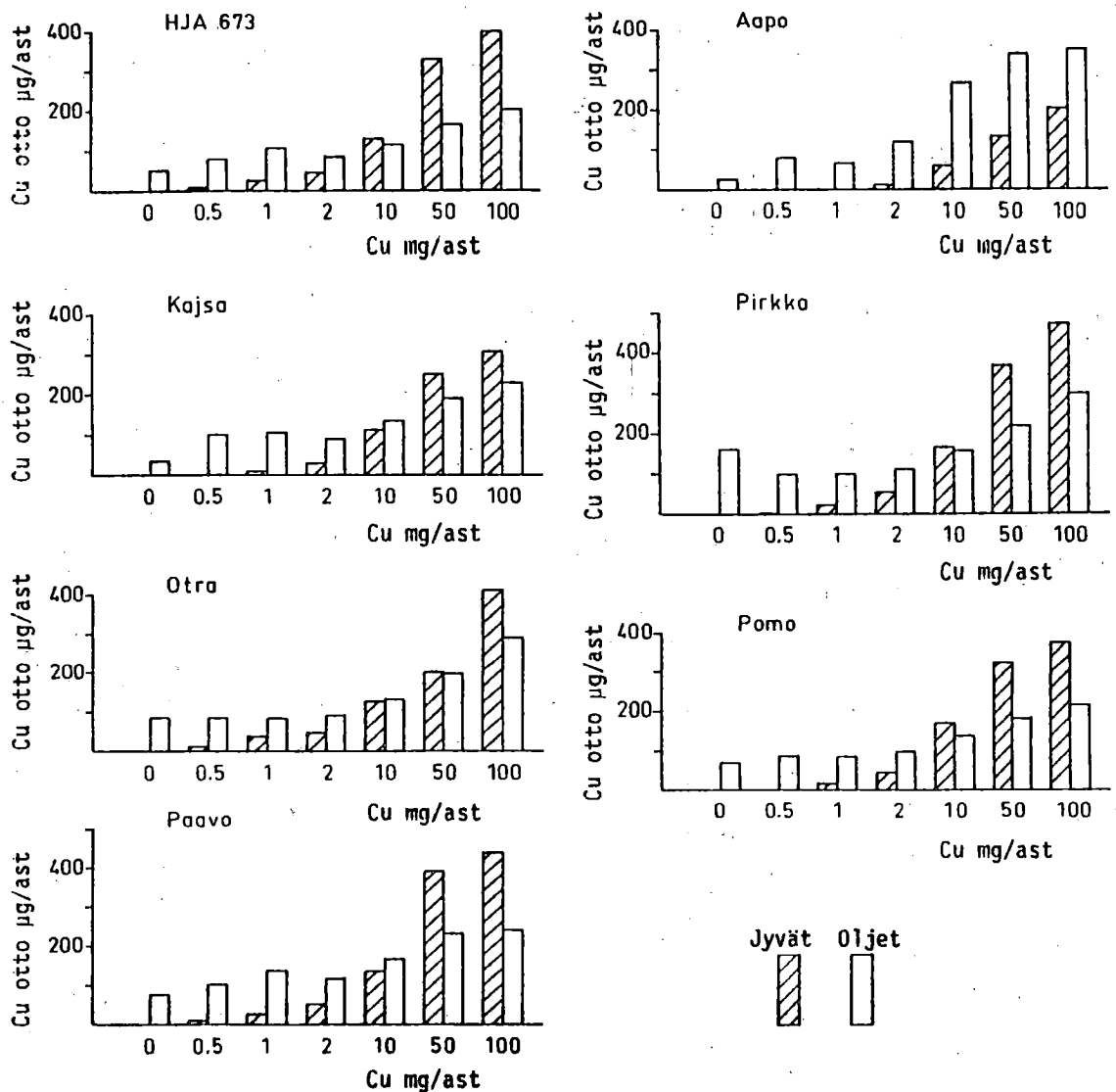
temäärän lisäämisen myötä. Riippuvuus näytti olevan ohrilla hieman selvempi kuin kauroilla. Satojen ottaman kuparimäärän ja lannoitemäärän (log x) välinen korrelaatio oli jyväsatojen osalta kauroilla ja koko sadon osalta ohrilla toista viljalajia voimakkaampi.



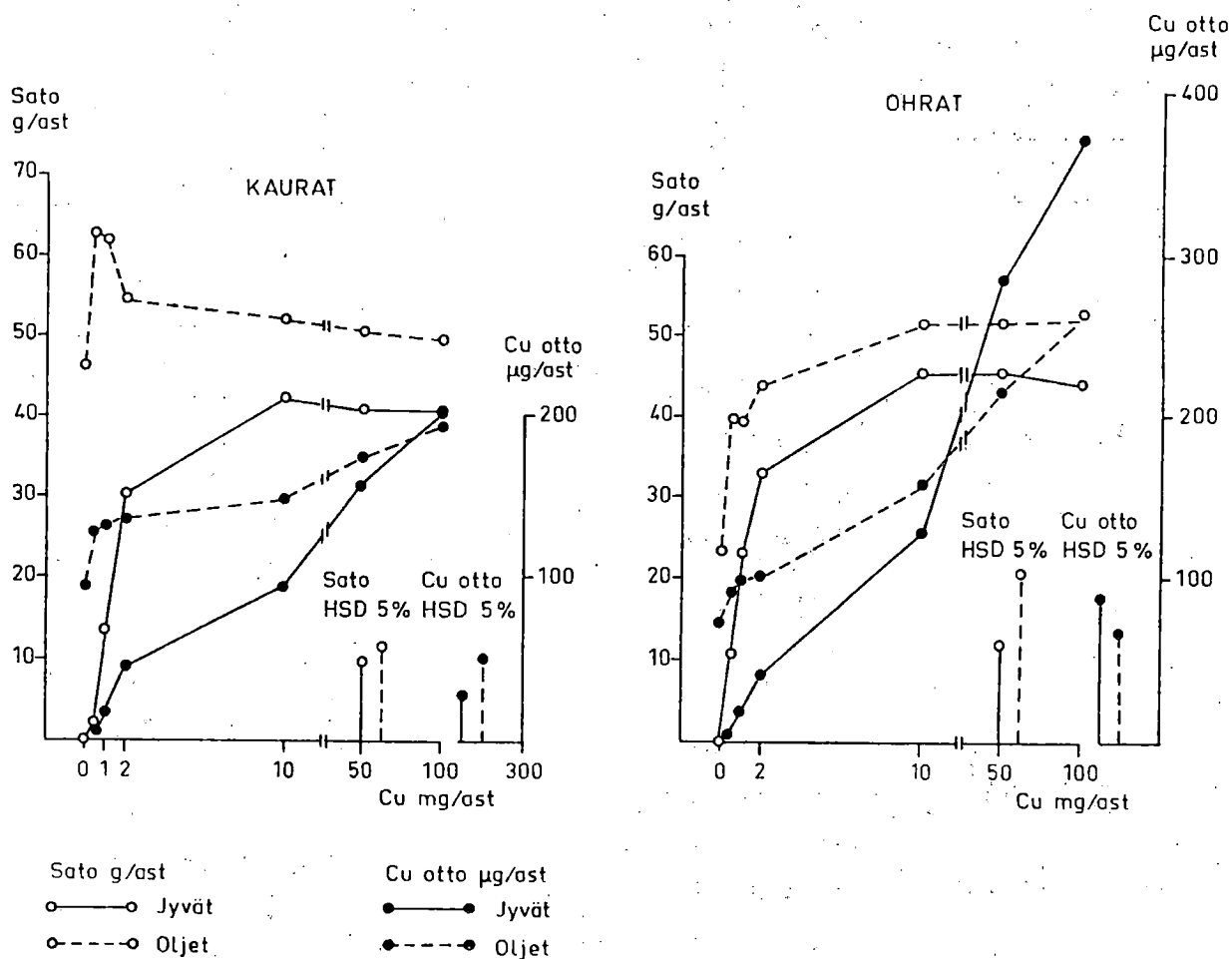
Kuva 1. Kuparilannoitemäärien vaikutus kauralajikkeiden jyväsatojen ja olkisatojen ottamaan kuparimäärään (Cu µg/ast).

Taulukko 5. Kuparilannoitemäärän (x) ja sadon ominaisuuksien (y) väliset riippuvuudet (r) kaurilla ja ohrilla.

	Kaurat	Ohrat	
Jyvät g/ast	0,81***	0,77***	(log x)
Oljet g/ast	-0,77***	0,42**	(log x)
Jyvät Cu mg/kg	0,89***	0,91***	
Oljet Cu mg/kg	0,80***	0,86***	
Jyvät Cu µg/ast	0,97***	0,91***	(log x)
Oljet Cu µg/ast	0,50**	0,82***	
Koko sato Cu µg/ast	0,91***	0,95***	(log x)



Kuva 2. Kuparilannoitemäärien vaikutus ohralajikkeiden jyvä- ja olkisatojen ottamaan kuparimäärään (Cu µg/ast).



Kuva 3. Kuparilannoitemäärien vaikutus kaurajen ja ohrien keskimääräiseen satoon (g/ast) ja kuparin ottoon (µg/ast).

5. TARKASTELU

Suomessa 1970-luvun lopulla yleisesti viljeltyjen seitsemän kaura- ja seitsemän ohralajikkeen herkkyyttä kuparin puutteelle tutkittiin yksivuotisessa astiakokeessa kasvualustana niukkakuparinen (0,37 mg/l Cu) saraturve. Kuparilannoitus 0, 0,5, 1, 2, 10, 50 tai 100 mg/ast Cu (= 0, 0,22, 0,44, 0,88, 4,4, 22 tai 44 kg/ha, 20 cm) kuparisulfaattina sekoitettiin koko astian maaeraan (5 litraa).

SMILDE ja HENKENS (1967) totesivat, että osa ohralajikkeista sietää kuparin niukkuutta paremmin kuin kaura, osa taas on kauraa herkempiä kuparin puutteelle. Tämän tutkimuksen tulokset ovat samansuuntaisia, sillä ilman kuparilannoitusta yksi-

kään ohralajike ei muodostanut jyväsatoa ja kauroistakin vain kahdesta saatiin muutama jyvä. Pienimmällä kuparimäärällä (Cu 0,5) neljästä ohralajikkeesta saatiin suurempi jyväsato kuin kuudesta jyviä tuottaneesta kauralajikkeesta. Viljojen lyhyt kasvuaika ja jyvien korkea valkuaispitoisuus näyttivät olevan jossakin määrin yhteydessä eri lajikkeiden muita korkeampaan kuparin tarpeeseen (esimerkiksi Tiitus-kaura ja Kajsa-ohra). Myös juuriston fysiologisen aktiivisuuden erot lienevät mahdollisia (SMILDE ja HENKENS 1967).

Kauroista ilman kuparilannoitusta saatu runsas olkisato viittaa siihen, että maassa oli tarpeeksi kuparia tämän kasvilajin vegetatiivista kasvua varten. Ohrien olkisadot olivat yleensä ilman kuparilannoitusta pienet, mikä on ehkä osoitus ohrien suuremmasta kuparin tarpeesta. GUPTA ja MacLEOD (1970) totesivat astiakokeissaan kummankin viljalajin olkisadon vähenevän kuparin saannin lisääntyessä. Ohran osalta tämän tutkimuksen tulokset eivät ole sen suuntaisia.

Kuparilannoitemäärän lisäämistä seurannut ohrien jyvä- ja olkisadon lisääntyminen osoittaa ohrien ehkä tarvitsevan kummankin sadonosan tuottamiseen enemmän kuparia kuin kaurojen. Ohrien kauroja suurempaan kuparin tarpeeseen viittaavat myös ne seikat, että kaurojen jyväsato saavutti maksiminsa jo pienehköillä lannoitemäärillä, kaurojen jyvien ja olkien kuparipitoisuus ei kohonnut yhtä korkeaksi eikä satojen ottama kuparimäärä ollut niin suuri kuin ohrien.

Kasvin itsensä kannalta olisi GUPTAN ja MacLEODin (1970) mukaan kuparipitoisuuden optimiarvo kauran jyvissä 1,8 mg/kg ja ohran jyvissä 2,0 mg/kg. SNOWBALLin ja ROBSONin (1984) mielestä kasvin sisäinen kuparin tarve ei osoita kasvilajin tai -lajikkeen reagoitua kuparilannoitukseen. Se voidaan osoittaa ennen muuta lannoituksella saatujen satojen kuparin oton eroilla. Käsillä olevassa tutkimuksessa kasvilajien ja saman kasvin eri lajikkeiden kuparin otot poikkesivat toisistaan siten, että kuparin puutteelle herkkien Tiitus-kauran, Kajsa- ja Aapo-ohran jyvät ottivat kuparia muita vähemmän. Vaatimattomien lajikkeiden kuparin otto oli suurin.

Jyväsatujen olkisatoja suurempi kuparin otto viljan riittävän kuparin saannin ilmaisijana (SCHARRER ja SCHAUMLÖFFEL 1960, TÄHTINEN 1978) ei näyttänyt ainakaan kauralajikkeiden osalta pitävän paikkaansa, sillä vasta kaksi suurinta kuparimäärää (Cu 50 ja Cu 100) olisivat olleet riittävät muutamille lajikkeille. Ohrilla kuparin oton jakautuminen tasan jyvä- ja olkisadon osalle saavutettiin useimmilla lajikkeilla jo Cu 10 tasolla.

Pohjoismaiden Maataloustutkijain Yhdistyksen asettama työryhmä esitti, että kotieläinten rehun tulisi sisältää kuparia 6-10 mg/kg (ANON. 1975). Kanadassa on vastaavaksi rajaksi ehdotettu 5-8 mg/kg (DICK ym. 1985). Tässä tutkimuksessa runsain kuparimäärä (Cu 100) kohotti vain kahden ruskeakuorisen kauralajikkeen (Orion III ja Kalott) jyvien kuparipitoisuuden rehulle asetettujen tavoitteiden alueelle. Useimmat ohralajikkeet saavuttivat sen jo kuparimäärällä Cu 50. Eläinten rehuksi sopisivat parhaiten Pirkka- ja Pomo-ohrat, sillä ne tuottivat runsaasti kuparia sisältävän jyväsadon jo kohtalaisella kuparilannoituksella.

6. KIRJALLISUUS

- ANON. 1975. Förslag till normer för makro- och mikromineraler till nötkreatur och svin. Foderjournalen 14: 54-106.
- DICK, A. C., MAHLI, S. S., O'SULLIVAN, P. A. & WALKER, D. R. 1985. Chemical composition of whole plant and grain and yield of nutrients in grain of five barley cultivars. Plant and Soil 86: 257-264.
- GRAHAM, R. D. 1975. Male sterility in wheat plants deficient in copper. Nature 254: 514-515.
- GUPTA, U. C. & MacLEOD, L. B. 1970. Response to copper and optimum levels in wheat, barley and oats under greenhouse and field conditions. Can. J. Soil Sci. 50: 373-378.
- KURKI, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955-1980. 181 p. Helsinki.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micro-nutrients in soils. Acta Agric. Fenn. 123: 223-232.

- NAMBIAR, E. K. S. 1976. Genetic differences in the copper nutrition of cereals I. Differential responses of genotypes to copper. *Austr. J. Agric. Res.* 27: 453-463.
- SCHARRER, K. & SCHAUMLÖFFEL, E. 1960. Über die Kupferaufnahme durch Sommergetreide auf Kupfermangelböden. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 89: 1-17.
- SIPPOLA, J. & TARES, T. 1978. The soluble contents of mineral elements in cultivated Finnish soils. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20: 11-25.
- SMILDE, K. W. & HENKENS, C. H. 1967. Sensitivity to copper deficiency of different cereals and strains of cereals and strains of cereals. *Neth. J. Agric. Sci.* 5: 249-258.
- SNOWBALL, K. & ROBSON, A. D. 1984. Comparison of the internal and external requirements of wheat, oats and barley to copper. *Austr. J. Agric. Res.* 35: 359-365.
- TÄHTINEN, H. 1978. Determining the sensitivity of cereal varieties to copper deficiency in a pot experiment. *Ann. Agric. Fenn.* 17: 147-151.
- YLÄRANTA, T. & SILLANPÄÄ, M. 1984. Micronutrient contents of different plant species grown side by side. *Ann. Agric. Fenn.* 23: 158-170.

KUPARILANNOITELAJIEN VERTAILU ASTIAKOKKEESSA KAURALLA

	Sivu
Sisällysluettelo	
1. TIIVISTELMÄ	63
2. JOHDANTO	64
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	64
4. TULOKSET JA TARKASTELU	65
5. KIRJALLISUUS	68

1. TIIVISTELMÄ

Kuparisulfaattia, -kelaattia ja -oksidia verrattiin keskenään yksivuotisessa astiakokeessa kasvualustana hapan ja niukkakuparinen saraturve. Maan pH kohotettiin kalkituksilla lähelle 5,5 ja 6,5. Kuparilannoitteita käytettiin 5 (Cu 5) ja 100 (Cu 100) mg/ast Cu vastaavat määrät (= 2 ja 40 kg/ha, 20 cm), ja tutkittiin lannoitelajien vaikutusta kauran jyvä- ja olkisaatoon.

Lievästi happamassa turvemaassa kuparisulfaatilla ja kuparikelaatilla saadut jyväsadot eivät poikenneet merkitsevästi toisistaan. Pienellä kuparimäärällä kumpaakin lannoitetta saatiin melkein yhtä suuri jyväsato kuin suurellakin kuparimäärällä. Lähes neutraalissa maassa (pH 6,5) kuparikelaatti näytti olevan hieman tehokkaampi lannoite kuin kuparisulfaatti, ja lannoitelajien välinen ero oli selvin pienellä kuparimäärällä saaduissa sadoissa.

Suurella kuparioksidimäärällä saatiin saman suuruinen jyväsato kuin muillakin kuparilannoitteilla maan pH-luvusta riippumatta. Pieni kuparioksidimäärä oli selvästi muita lannoitteita tehottomampi.

2. JOHDANTO

Kuparilannoitteeksi voidaan maassamme valita kuparisulfaatti (25 % Cu), kuparikelaattineste (5 % Cu) tai rakeinen kuparilannos (6 % Cu, ANON. 1985). Kuparisulfaatti ja -kelaatti voidaan levittää maahan tai antaa kasvustoille lehtilannoituksena. Maahan annettavaksi kuparilannoitteeksi tarjottiin 1970-luvulla myös kuparioksidia.

Muiden muassa KÄHÄRI (1972), WALLACE ja MUELLER (1973) sekä KÄHÄRI ja JAAKKOLA (1977) ovat verranneet sulfaattina tai kelaattina annettua kuparilannoitusta. Kuparioksidilla ovat tehneet tutkimuksia FORSEE ym. (1954) peltoviljelyssä sekä PIETILÄINEN ja VEIJALAINEN (1979) männyn taimilla. Näissä tutkimuksissa todettiin eroja eri lannoitelajien välillä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maan pH-luvun mahdollista vaikutusta kuparisulfaatin, kuparikelaatin ja kuparioksidin tehoon kuparilannoitteena.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kolmea kupariyhdistettä verrattiin yksivuotisessa astiako-keessa kasvualustana hapan (pH(H₂O) 4,0) saraturve, joka sisälsi vähän kuparia (0,37 mg/l) ja muita ravinteita (vert. JOKINEN ja TÄHTINEN 1987). Tutkittavat kupariyhdisteet olivat kuparisulfaatti (CuSO₄·5H₂O p.a., 25 % Cu), kuparikelaatti (Cu-EDTA, 6,1 % Cu) ja kuparioksidi (CuO, 63,2 % Cu, puhtausaste 78 % CuO).

Koe tehtiin 5 litran muoviastioissa, joihin punnittiin 3,2 kg kosteaa maata (0,9 kg kuivaa maata). Maat kalkittiin kalsiumkarbonaatilla (lab. reag.), 24 (Ca 2) tai 48 (Ca 4) g/ast. Kummallakin kalkitustasolla oli kuparilla lannoittamattomat (Cu 0) sekä 5 (Cu 5) tai 100 (Cu 100) mg/ast kuparia vastaavat määrät tutkittavia kolmea kuparilannoitetta saaneet astiat seuraavan suunnitelman mukaisesti:

Ca 2 + Cu 0
 Ca 2 + Cu 5 kuparisulfaattina (Cu-sulf.)
 Ca 2 + Cu 5 kuparikelaattina (Cu-kel.)
 Ca 2 + Cu 5 kuparioksidina (Cu-oks.)
 Ca 2 + Cu 100 kuparisulfaatti
 Ca 2 + Cu 100 kuparikelaatti
 Ca 2 + Cu 100 kuparioksidi
 Ca 4 + Cu 0
 Ca 4 + Cu 5 kuparisulfaatti
 Ca 4 + Cu 5 kuparikelaatti
 Ca 4 + Cu 5 kuparioksidi
 Ca 4 + Cu 100 kuparisulfaatti
 Ca 4 + Cu 100 kuparikelaatti
 Ca 4 + Cu 100 kuparioksidi

Kaikki käsittelyt toistettiin neljään kertaan. Astioihin annettiin lannoitukseksi 1000 mg N, 400 mg P, 1000 mg K, 200 mg Mg, 2 mg B, 15 mg Mn, 10 mg Zn, 4 mg Mo ja 10 mg Fe. Lannoitteet ja kalkit sekoitettiin maahan samanaikaisesti ja kaura (Pendek) kylvettiin välittömästi lannoituksen jälkeen (25 siementä/astia). Kasveja kasvatettiin ulkona verkkohallissa ja sato korjattiin tuleentuneena.

Kokeen lopussa tehtiin vain pH-määritykset maiden vesisuspensiosta (1:2,5).

4. TULOKSET JA TARKASTELU

Sadonkorjuun jälkeen maista mitatut pH-arvot olivat kalkitustasoilla Ca 2 ja Ca 4 keskimäärin 5,6 ja 6,5.

Ilman kuparilannoitusta kaurasta ei saatu jyväsatoa kummallakaan kalkkitasolla. Kasvustojen pääversot olivat tuleentuneita, mutta röyhyissä ei ollut jyviä. Röyhyllisiä sivuversoja kehittyi myös runsaasti, ja nekin olivat jyvättömiä ja vihreitä. Pienemmällä kalkkimäärällä saatiin keskimäärin 40,4 g/ast olkia, pH-luvun kohottaminen vähensi sadon 24,3 gram-

maan. Alkujaankin niukka kasveille käyttökelpoisen kuparin määrä maassa väheni korkean pH(H₂O)-arvon seurauksena ja se aiheutti olkisadon vähenemisen (JOKINEN ja TÄHTINEN 1987).

Ilman kuparilannoitusta jätetyllä osalla koetta haluttiin varmistaa, että kuparin puute rajoittaa kauran kasvua tällä maalla. Sen ansiosta lannoitelajienkin vertailu oli mahdollinen.

Kahdella kuparimäärällä eri lannoitteilla saatiin seuraavat keskimääräiset jyväsadot (g/ast):

	Jyväsato g/ast	
	Cu 5	Cu 100
Cu-sulf.	45,0	47,6
Cu-kel.	45,1	48,5
Cu-oks.	10,4	47,1
HSD 5 %		4,7

Pieni määrä kuparia sulfaattina tai kelaattina oli tehokkaampi kuin oksidina, suuri määrä kuparia eri lannoitteina antoi lähes yhtä suuret jyväsadot.

Maan pH-luvun kohottamisella näytti olevan lievä negatiivinen vaikutus kuparisulfaatilla saatuun satoon lannoitemäärästä riippumatta (Taulukko 1). Kuparikelaatilla saadut tulokset eivät riippuneet maan happamuudesta. Pieni kuparioksidimäärä menetti selvästi lannoitusvaikutustaan, kun maan pH-luku kohotettiin 5,5:stä 6,5:een. Suuri määrä kuparioksidia näytti olevan kummallakin happamuustasolla muiden lannoitelajien veroinen.

Kuparilannoitelajien, kuparimäärien ja kalkkimäärien ei todettu vaikuttavan merkittävästi kauran olkisatoon, poikkeuksena lievästi kalkitussa maassa pienellä kuparioksidimäärällä saatu muita runsaampi olkisato (Taulukko 1).

Taulukko 1. Kalkkimäärän ja kuparimäärän vaikutus eri kuparilannoitteilla saatuihin kauran jyvä- ja olkisatoihin (g/ast)..

	Ca 2			Ca 4		
	Cu 5	Cu 100	Keskim.	Cu 5	Cu 100	Keskim.
Jyväsato g/ast						
Cu-sulf.	44,8	49,7	47,3	39,2	45,5	42,3
Cu-kel.	45,8	48,7	47,3	44,3	48,2	46,3
Cu-oks.	18,7	49,3	34,0	2,2	44,9	23,5

HSD 5 % 6,6

Olkisato g/ast						
Cu-sulf.	49,5	50,1	49,8	51,3	47,2	49,3
Cu-kel.	47,6	50,1	48,8	47,2	49,9	48,6
Cu-oks.	58,8	51,7	55,3	47,2	48,7	48,0

HSD 5 % 5,4

Kuparisulfaatti ja kuparikelaatti osoittautuivat astiakokeissa lähes yhtä tehokkaiksi lannoiteiksi, kun ne oli annettu melko happamaan maahan (KÄHÄRI 1972, KÄHÄRI ja JAAKKOLA 1977). Lähelle neutraalia kalkituilla mailla kelaattina annettu kupari näytti olevan jonkin verran paremmin kauralle käyttökelpoista. Saman totesi VARVEL (1983) vehnällä kaksivuotisissa kenttäkokeissa. WALLACEn ja MUELLERin (1973) mukaan kuparikelaatti kohotti kalkkipitoisella maalla (pH 7,5) pensaspavun lehtien kuparipitoisuutta enemmän kuin kuparisulfaatti. FORSEEn ym. (1954) kokeissa kuparioksidi osoittautui lähes kuparisulfaatin veroiseksi lannoitteeksi.

Tämän tutkimuksen mukaan kuparikelaatti näyttäisi olevan lähes neutraalissa maassa viihtyville kasveille kuparisulfaattia tehokkaampi lannoite jo pieninäkin määrinä. Muissa oloissa ne ovat saman arvoiset. Kuparioksidia jouduttaisiin

käyttämään suuret määrät riittävän lannoitusvaikutuksen saavuttamiseksi, mikäli sitä käytettäisiin maassamme kuparilannoitteena.

5. KIRJALLISUUS

- ANON. 1985. Lannoitteiden ominaisuudet ja käyttö. 64 p. Kemira Oy, Helsinki.
- FORSEE, W. T. Jr., ERWIN, T. C. & KRETSCHMER, A. E. Jr. 1954. Copper oxide as a source of fertilizer copper for plants growing on everglades organic soils. Univ. Florida Agric. Exp. Sta. Bull. 552: 1-16.
- JOKINEN, R. & TÄHTINEN, H. 1987. Kaura- ja ohralajikkeiden herkkyys kuparin puutteelle ja eri kuparimäärillä saadut tulokset. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 17/87: 48-62.
- KÄHÄRI, J. 1972. Kuparikelaatti. Kehittyvä Maatalous 8: 22-24.
- & JAAKKOLA, A. 1977. Kuparilannoitteiden vertailu astiakokeessa. Kehittyvä Maatalous 35: 3-6.
- PIETILÄINEN, P. & VEIJALAINEN, H. 1979. Koe hivenlannoitteiden vaikutuksesta rimpisuon metsityksessä. Suo 30: 73-80.
- WALLACE, A. & MUELLER, T. 1973. Effects of chelated and non-chelated cobalt and copper on yields and microelement composition of bean grown on calcareous soil in a glasshouse. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37: 907-908.
- VARVEL, G. E. 1983. Effect of banded and broadcast placement of Cu fertilizers on correction of Cu deficiency. Agron. J. 75: 99-101.

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

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

1984

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

4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1975-83. 22 p.
5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvihuonetomaatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuentamenetelmien vertailua. Sijoituslannoitus ja kasvualustan ilmastus kasvihuonekurkulla ja tomaatilla. 21 p.
6. VIJORINEN, M. Italianraiheinä ja viljat tuorerehuna. 17 p.
7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja esikokeiden ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
8. HUOKUNA, E. & HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon muutokset säilörehuasteella. 54 p.
9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.
10. HAKKOLA, H. Kuonakalkituskokeiden tuloksia 1978-83. 42 p.
11. SIPPOLA, J. & SAARELA, I. Eräät maa-analyysimenetelmät fosforilannoitustarpeen ilmaisijoina. 20 p.
12. RAVANTTI, S. Terhi-punanata. 37 p.
13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Kolme ravinnesuhdetta Suomen maalajeissa. 10 p.
14. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., KERSALO, J. & NORDLUND, A. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1983. 101 p.
15. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1976-1983. 202 p. + 4 liitettä.
16. JUNNILA, S. Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien käyttäytymiseen maassa. Kirjallisuustutkimus. 15 p. + 4 liitettä.
17. PESSALA, R., HAKKOLA, H. & VALMARI, A. Kylvöajan merkitys porkkanan viljelyssä. 22 p.
18. NISULA, H. Uusimpia tuloksia Ruukin lihanautakokeista. 39 p.
19. SAARELA, I. Kevätöljykasvien boorilannoitus. 122 p. + 2 liitettä.
20. URVAS, L. Maaperäkarttaselitys. PORI - HARJAVALTA. 28 p. + 14 liitettä.
21. LEHTINEN, S. Avomaavihannesten lannoitus- ja kastelukokeet 1978-1983. 62 p. + 17 liitettä.
22. ANISZEWSKI, T. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima eräillä MTK:n kiertokoealueilla. Kirjallisuustutkimus ja MTK:n kolmen tutkimusaseman näytteiden analyysi. p. 1-38.
- PALDANIUS, E. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemien maanäytteissä. p. 39-56.

23. RINNE, S-L. & SIPPOLA, J. Maatalouden jätteiden kompostointi. 52 p.
I Typpi - ja fosforilisä oljen kompostoinnissa
II Maatalouden jätteet kompostin raaka-aineina
III Kompostin arvo lannoitteena

1985

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1984. 67 p.
2. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., NORLUND, A. & PILLI-SIHVOLA, Y. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1984. 127 p.
3. ETTALA, E. Säilörehu Maatalouden tutkimuskeskuksen lypsykarjakokeissa 1970 - luvulla. 270 p.
4. ETTALA, E. Laidun lypsykarjaruokinnassa. 220 p.
5. TUORI, M. & NISULA, H. Ruokintarutiinien merkitys naudoilla. Kirjallisuustutkimus. 38 p.
6. TURTOLO, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
7. AURA, E. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve. Nitrogen and water requirements for carrot, beetroot, onion and cabbage. 61 p.
8. Puutarhaosaston tutkimustuloksia. Taimitarha ja dendrologia. 94 p.
9. KEMPPAINEN, E. Kuivikkeen vaikutus lannan arvoon. Kuivikkeiden ammoniakkin sitomiskyky. 25 p.
10. JAAKKOLA, A., HAKKOLA, H., HIIVOLA, S-L., JÄRVI, A., KÖYLIJÄRVI, J. & VUORINEN, M. Terästeollisuuden kuonat kalkitusaineina. 44 p.
11. JAAKKOLA, A., ETTALA, E., HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R. & VUORINEN, M. Siilinjärven kalkki kalkitusaineena. 53 p.
12. TAKALA, M. Asumajätevesien imeyttäminen maahan ja energiapajun viljely imeytyskentällä. 36 p.
13. JOKINEN, R. & HYVÄRINEN, S. Eri maalajien magnesiumpitoisuus ja sen vaikutus ravinnesuhteisiin Ca/Mg ja Mg/K. 15 p.
14. JUNNILA, S. Rikkakasvien siementen itämislepo. Kirjallisuuskatsaus. 29 p.
15. MÄKELÄ, K. Talven aikana kuolleiden ryhmäruusujen versoissa esiintyvä sienilajisto vuosina 1976-1982. 13 p. + 8 liitettä.
16. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1977-1984. 168 p. + 4 liitettä.

17. SÄKÖ, J. Maatalouden tutkimuskeskuksen puutarhaosastolla Piikkiössä kokeillut ja kokeiltavana olevat omenalajikkeet.
Perusrungon merkitys omenapuiden talvehtimisessä 1983-84.
SÄKÖ, J. & LAURINEN, E. Omenapuiden harjuistutus.
HIIRSALMI, H. & SÄKÖ, J. Mansikan jalostus johtanut tulokseen.
18. ETTALA, E., SUVITIE, M., VIRTANEN, E., PITKÄNEN, T., ZITTING, M., NÄSI, M., TUOMIKOSKI, T. & NISKANEN, M. Metsä- ja maatalouden sivutuotteet lihamullien rehuna. 51 p.
19. MANNER, R. & AALTONEN, T. Pitko-syysvehnä. 6 p + 27 liitettä.
20. MANNER, R. & AALTONEN, T. Kartano-syysruis. 5 p + 13 liitettä.
21. ANISZEWSKI, T. Lupiini viljelykasvina. 134 p.
22. HUOKUNA, E., JÄRVI, A., RINNE, K. & TALVITIE, H. Nurmipalkokasvit puhtaana kasvustona ja heinäseoksena. p. 1-12.
HUOKUNA, E. Apilan pahkahomeen esiintymisestä. p. 13-20.
HUOKUNA, E. & HÄKKINEN, S. Englanninraiheinä säilörehunurmista. p. 21-26.
23. VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., LARPES, E., MICORDIA, A. & LAMPILA, M.
Eri säilöntäaineet esikuivatun ja tuoreen säilörehun valmistuksessa sekä kiinteä ja nouseva väkirehun annostus mullien kasvatuksessa. p. 1-32.
VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., SORMUNEN-CRISTIAN, R. & LAMPILA, M.
Eri säilöntäaineet nurmirehun säilönnässä. p. 33-45.
24. RISSANEN, H., ETTALA, E., MELA, T. & MUSTONEN, L. Laitumen sadetuksen ja väkirehujen käytön vaikutus lehmien tuotoksiin. p. 1-21.
RISSANEN, H., KOSSILA, V. & VASARA, A. Urean, Urea-Foeforihappo-Viherjauhoyhdisteen (UPV) ja soijan vertailu raakavalkuaislähteinä maidontuotantokokeissa lehmillä. p. 22-30.
KOSSILA, V., KOMMERI, M. & RISSANEN, H. Monokalsiumfosfaatti ja ureafosfaatti sekä käsittelemätön olki ja ammoniakilla käsitelty olki mullien ruokinnassa. p. 31-40.
25. KORTET, S. Puna-apilan paikalliskantojen ekologia. 66 p.
26. MEHTO, U. Viljojen rikkakasvien torjunta ilman herbisidejä. Kirjallisuustutkimus. 77 p.
27. HUHTA, H. & HEIKKILÄ, R. Rehuviljan viljely Pohjois-Karjalassa. 24 p. + 2 liitettä.

2. KEMPPAINEN, E. Karjanlannan hoito ja käyttö Suomessa. 102 p. + 6 liitettä.
3. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Lietelanta nurmen peruslannoitteena. 25 p.
4. NIEMELÄINEN, O. Nurmmikkoheinien ominaisuudet. Kirjallisuustutkimus. Tuloksia punanatojen ja niittynurmikan virallisista nurmikon lajikekokeista vuosilta 1977-84. 48 p.
5. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikeko-keiden tuloksia 1978-1985. 128 p.+ 4 liitettä.
6. NIEMELÄINEN, O. & PULLI, S. Puna-apilalajikkeiden siemenmuodostus. Tuloksia apilan virallisista siemenviljelyn lajikekokeista vuosilta 1978-84. 42 p.
7. NIEMELÄINEN, O. Syksyn, talven ja kevään lämpö- ja valo-olojen vaikutus koiranheinän, niittynurmikan ja punanadan röyhymuodostukseen. Kirjallisuustutkimus. 51 p.
8. ERVIÖ, L-R. & ERKAMO, M. Pakettipellon viljelyn uudelleen aloittaminen herbisidien avulla.
ERVIÖ, L-R. Korren vahvistaminen timotein siemenviljelyksillä.
HIIVOLA, S-L. Klormekvatin käyttö timotein siemennurmilla.
ERVIÖ, L-R. & HIIVOLA, S-L. Herbisidien käytön vähentäminen viljakäsvus-
tossa.
9. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Säilörehun puristeneste ja virtsa lan-
noitteina. 43 p.
10. MATIKAINEN, A. & HUHTA, H. Nurmikasvilajikkeet Karjalan tutkimusasemalla. 24 p.
11. SOVERO, M. Nopsa-kevättrypsi. 15 p. + 2 liitettä.
12. NIEMELÄ, P. Kuiviketurpeen soveltuvuus turkistarhoilla kertyvän sonnan ja virtsan käsittelyyn. 15 p + 4 liitettä.
13. PULLI, S., Vestman, E., TOIVONEN, V. & AALTONEN, M. Yksivuotisten tuorerehukasvien sopeutuminen Suomen kasvuoloihin. 51 p.
14. SIMOJOKI, P., RINNE, S-L., SIPPOLA, J., RINNE, K., HIIVOLA, S-L. & TALVITIE, H. Herneaurasta saatava typpilannoitusohyöty. 27p. + 22 liitettä.

15. SÄKÖ, J. & YLI-PIETILÄ, M. Hedelmäpuiden ja marjakasvien talvehtiminen talvella 1984-85. 28 p.
16. MANNER, R. & KORTET, S. Niina-ohra. 31 p. + 1 liite.
17. TURTOLO, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
18. TOIVONEN, V. & LAMPILA, M. Juurikasvisäilörehujen valmistus, laatu, rehuarvo ja mahdollinen käyttö etanolin valmistuksessa. 106 p. + 23 liitettä.
19. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayshiren, friisiläisen ja suomenkarjan monivuotinen vertailu kotovaraisella säilörehu-vilja -ja heinä-vilja-urearuokinnalla.
1. Kolmen ensimmäisen lypsykauden tuotantotulokset.
114 p. + 5 liitettä.
20. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayshiren, friisiläisen ja suomenkarjan monivuotinen vertailu kotovaraisella säilörehu-vilja -ja heinä-vilja-urearuokinnalla.
2. Lehmien syöntikyky, ravinnonsaanti ja rehun hyväksikäyttö sekä hedelmällisyys ja kestävyys kolmen ensimmäisen tuotantovuoden aikana.
293 p.+ 23 liitettä.
21. RAVANTTI, S. Iki-timotei. 33 p.+ 1 liite.
22. URVAS, L. & VIRRI, K. Maaperäkarttaselitys. Turku-Rymättylä. 34p.+ 7 liitettä.
23. VUORINEN, M. Kalkituskoeköiden tuloksia saraturvemaalta 1977-83. 22 p.

1987

1. Tiivistelmiä MTK:N tutkimuksista ja julkaisuista 1986. 72 p.
2. PALDANIUS, E. Oljen kompostointi erilaisia seosmateriaaleja typpilähteinä käyttäen. 55 p. + 1liite.
3. LEIVISKÄ, P. & NISSILÄ, R. Säämittauksen tuloksia Pohjois-Pohjanmaan tutkimus-
asemalla Ruukissa. 31 p.
4. HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R., RINNE, K. & VUORINEN, M. Odelman typpilannoitus,
sängenkörkeus ja niittoaika. 39 p.
5. NIEMELÄ, T. & NIEMELÄINEN, O. Kasvualustan tiivistyminen ja nurmikon kuluminen
nurmikon stressitekijöinä. Kirjallisuuskatsaus. p. 1-30.
NIEMELÄ, T. Siirtonurmikon kasvatus ja käyttö. Kirjallisuuskatsaus. p.31-42.
6. LUOMA, S., RAHKO, I. & HAKKOLA, H. Kiinankaalin viljelykoeköiden tuloksia
1981-85. 25 p.
7. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekoeköiden
tuloksia 1979-1986. 165 p. + 9 liitettä.

9. YLI-PIETILÄ, M., SÄKÖ, J. & KINNANEN, H. Puuvartisten koristekasvien talvehtiminen talvella 1984-85. 38 p.
10. VUORINEN, M. & TAKALA, M. Porkkanan ja punajuurikkaan sadetus, typpi-lannoitus ja kalkitus poutivalla hiekkamaalla. 30 p.
11. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet p. 1-8
Domestic Varieties p. 9-17.
12. TUOVINEN, T. Omenakääriäisen ennustemenetelmä p. 1-17
Pihlanmarjakoin ennustemenetelmä p. 18-32.
13. MÄKELÄ, K. Peittauksen vaikutus kotimaisen heinäsiemenen itävyyteen, orastuvuuteen ja sienistöön. 15 p.
14. Osa 1. YLÄRANTA, T. Radioaktiivinen laskeuma ja säteilyvalvonta
PAASIKALLIO, A. Radionuklidien siirtyminen viljelykasveihin
62 p.
14. Osa 2. KOSSILA, V. Radionuklidien siirtyminen kotieläimiin ja eläin-
tuotteisiin sekä vaikutukset eläinten terveyteen ja tuotantoon. 109 p.
15. RAVANTTI, S. Alma-timotei. 38 p. + 2 liitettä.
16. LEHMUSHOVI, A. Ryhmäruusujen lajikekokeet vuosina 1981-84. 29 p.
17. JOKINEN, R., & TÄHTINEN, H.
Karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden kuparipitoisuus ja sen
vaikutus kauran kasvuun astiakokeessa. p. 1 - 17
Maan kuparipitoisuuden ja happamuuden vaikutus kuparilannoituk-
sella saatuihin kauran satotuloksiin. p. 18 - 37
Maan pH-luvun ja kuparilannoituksen vaikutus kauran hivenravinne-
pitoisuuksiin. p. 38 - 47
Kaura- ja ohralajikkeiden herkkyys kuparin puutteelle ja eri
kuparimäärillä saadut tulokset. p. 48 - 62
Kuparilannoittelajien vertailu astiakokeessa kauralla. p. 63 - 68
18. HIIRSALMI, H., JUNNILA, S. & SÄKÖ, J. Ahomansikasta suomalainen vil-
jelylajike. p. 1-8.
Mesimarjan jalostus johtanut tulokseen. p. 9-21.
19. TALVITIE, H., HIIVOLA, S-L. & JÄRVI, A. Satojen ja satovahinkojen ar-
viointitutkimus. 87 p.
20. KEMPPAINEN, R. Puna-apilan ympäys Rhizobium-bakteerilla.
Inoculation of red clover by Rhizobium strain. 24 p.

21. LAMPILA, M., VÄÄTÄINEN, H. & ALASPÄÄ, M. Korsirehujen vertailu kasvavien ayrshire-sonnien ruokinnassa. p. 1 - 40.
ARONEN, I., HEPOLA, H., ALASPÄÄ, M. & LAMPILA, M. Erisuuruiset väki-rehuannokset kasvavien ayrshire-sonnien olkiruokinnassa. p. 41 - 66.
ARONEN, I., ALASPÄÄ, M., HEPOLA, H. & LAMPILA, M. Bentsoehappo säilörehun valmistuksessa. p. 67 - 86.

1988

2. ANISZEWSKI, T. Puiden, pensaiden ja viljeltävän turvemaan fenologinen tutkimus. Phenological study on the trees, bushes and arable peat land. 120 p. + 5 liitettä.
4. JUNNILA, S. Pienannosherbisidit kevätiljoilla - Glean 20 DF, Ally 20 DF ja Logran 20 WG. p. 1 - 15
Starane M kevätiljojen rikkakasvien torjunnassa. p. 16 - 18
Kamilon B ja Kamilon D kevätiljojen rikkakasvien torjunnassa. p. 19 - 23
Kevätviljaherbisidit Rikkahävite KH 10/77, KH 2/83 ja Ipacril. p. 24 - 31.

