

Raili Jokinen, Leila Urvas ja Seppo Hyvärinen

UUTTUVA KUPARI VILJELLYISSÄ ELOPERÄISISSÄ MAISSA

Extractable copper in cultivated organic soils

Jokinen, R., Urvas, L. & Hyvärinen, S. 1993: Uuttuva kupari viljellyissä eloperäisissä maissa. (Summary: Extractable copper in cultivated organic soils.) — *Suo 44:11–19*. Helsinki. ISSN 0039-5471

The content of acid (pH 4.65) ammonium acetate-EDTA (AAAc-EDTA) extractable Cu was in mould soils (9.6 ± 5.7 mg/l soil) about one and a half times that in peat soils (6.6 ± 4.4 mg/l). There was a close positive dependence between extractable Cu and the total Cu in both soil types. The proportion of extractable Cu on the total Cu was in mould soils (wet combustion $40.0 \pm 13.3\%$; dry ashing $40.9 \pm 11.3\%$) somewhat lower than in peat soils (wet combustion $47.4 \pm 13.6\%$; dry ashing $53.4 \pm 19.5\%$). In mould soils the decrease in soil acidity had an increasing effect on both extractable Cu and total Cu contents of soil. In peat soils the extractable Cu and total Cu contents were lowest between pH(H₂O) values 5.0 and 5.5, and increased with both increasing and decreasing the soil acidity. The extractable Cu and total Cu contents were highest in mould soils of low humus content and in peat soils having humus content between 60 and 70%.

Keywords: Humus, mould soil, peat soil, pH, total copper

R. Jokinen, L. Urvas & S. Hyvärinen, Agricultural Research Centre of Finland, Institute of Soils and Environment, FIN-31600 Jokioinen, Finland

JOHDANTO

Maataloudessa kasvien kuparilannoituksen tarve arvioidaan pellon muokkaukerroksen uuttuvan kuparipitoisuuden ja viljelykasvin vaatimusten perusteella. Kasville käyttökelpoiset ravinteet uutetaan happamalla (pH 4,65) ammoniumaetaatti-EDTA:lla (Lakanen & Erviö 1971). Tämä neste uutaa maahiukkasten pinnoilta vaihtuvana olevan ja eloperäiseen ainekseen kelatoitumalla sitoutuneen kuparin (Lévesque & Mathur 1986). Uuttuvien ravinteiden määrittämiseen perustuva neuvonnallinen hivenravinteiden viljavuusanalyysi otettiin käyttöön vuonna 1986 (Viljavuustutkimuksen ... 1986).

Kuparin kokonaispitoisuus maassa on potentiaalinen ravinnevarasto, joka ei sellaisenaan kuitenkaan ole kasveille käyttökelpoinen. Kasvu-kauden aikana viljelykasvien kyky ottaa maasta uuttumattomia ravinteita on rajoitettu. Ennen vuotta 1986 hivenravinteiden lannoitusosuudet laadittiin maanäytteiden sisältämien ravinteiden kokonaispitoisuuksien perusteella (Kähäri ym. 1987).

Aikaisemmat selvitykset maalajien kokonaiskuparista ja uuttuvasta kuparipitoisuudesta ovat perustuneet erillisiin maanäyteaineistoihin (Mäkitie 1961, Sillanpää & Lakanen 1966, Sipola & Tares 1978), eikä tämän vuoksi ole var-

muutta uuttuvan kuparin ja kokonaiskuparin keskinäisistä suhteista viljelymaissa.

Viljelykasvien lannoitusuusositusten varmentamiseksi tarvittaisiin uuttuvan kuparipitoisuuden lisäksi arvio kokonaiskuparin määrästä. Tässä tutkimuksessa asiaa pyrittiin selvittämään multa- ja turvemaiden osalta, koska niissä kasvien kuparin puute on yleisintä. Samalla selvitettiin maan happamuuden ja humuspitoisuuden vaikutusta uuttuvaan kuparipitoisuuteen erikseen kummassakin maalajiryhmässä.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen aineisto koostuu 54 multamailta ja 58 turvemailta otetuista muokkauskerroksen (0–20 cm) näytteistä. Näytteet koottiin viljelyiltä mailta Lapin läänistä sekä Sotkamon, Ruukin, Juvan ja Jokioisten kuntien alueilta. Näytteet kuivattiin ja jauhettiin analyysejä varten.

Kokonaiskuparin määrittystä varten näytteet tuhkauteettiin sekä märkäpoltolla (modifioitu Huang & Schulte 1985) että kuivapoltolla (Methods ... 1986). Märkäpoltossa maa-ainekset hajoitettiin väkevällä typpihapolla. Kuivapoltto tehtiin ensin 450°C:ssa yli yön ja palamaton maa-aines poltettiin uudelleen 600°C:ssa. Kuparimääritys tehtiin suodatetuista tuhkauteista plasmaemissiospektrometrilla (ICP-ARL). Tulokset saatiin mg/kg maata ja ne muunnettiin maan irtotiheyden perusteella milligrammoiksi maalitraa kohti, jotta kokonaiskuparin ja uuttuvan kuparin pitoisuuksia voitiin verrata keskenään.

Uuttuva kupari määritettiin happaman (pH 4,65) ammoniumasetaatti-EDTA:n (HAA-EDTA) utteesta (Lakanen & Erviö 1971) ICP-ARL:lla. Tulokset saatiin suoraan mg/l maata. Uuttumattoman kuparin varasto (mg/l maata) laskettiin kokonaiskuparin ja uuttuvan kuparin pitoisuuksien erotuksena.

Orgaaninen hiili määritettiin Leco-laitteella polttamalla 1 320°C:ssa (Sippola 1982). Hiilipitoisuus muunnettiin humuspitoisuudeksi kertoimella 1,73 ja tulokset ilmoitetaan painoprosenttina ilmakuivan maanäytteen massasta. Näytteiden pH(H₂O)-luku mitattiin maa:vesi-suspensiosta (1:2,5 = maa:vesi) ja irtotiheys (g/cm³) punnitsemalla uuttuvan kuparin määrittämiseen otetun 25 cm³:n maakerän massa.

Kummankin maalajiryhmän aineisto luokiteltiin maan humuspitoisuuden, happamuuden ja uuttuvan kuparipitoisuuden mukaan (Taulukko 1). Uuttuvan kuparipitoisuuden luokkarajoina

Taulukko 1. Näytteiden lukumäärä humuspitoisuuden (%), pH(H₂O):n ja HAA-EDTA:an uuttuvan kuparipitoisuuden (mg/l maata) mukaan luokitelluissa aineistoissa.

Table 1. Number of mould and peat soil samples in the material classified according to humus content (%), pH(H₂O) and AAAC-EDTA extractable Cu content (mg/l soil).

	Multamaat Mould soils	Turvemaat Peat soils
Humuspitoisuus – Humus content		
20,0–29,9	33	
30,0–39,9	21	
40,0–49,9		10
50,0–59,9		13
60,0–69,9		20
70,0→		15
pH(H ₂ O)		
→3,99		13
4,00–4,99	2	18
5,00–5,49	24	18
5,50→	28	9
Uuttuva Cu – Extractable Cu		
1,0–1,9	2	15
2,0–2,9	8	4
3,0–4,9	5	4
5,0–9,9	14	28
10,0→	25	7
Näytteitä yht. – Total number of samples		
	54	58

käytettiin eräitä viljavuusanalyysin tulosten tulkintaohjeen arvoja (Viljavuus tutkimuksen ... 1991). Sen mukaan kuparipitoisuusluokkiin alle 2,7 mg/l kuuluvat maat tarvitsevat aina kuparilannoituksen ja pitoisuuden optimialue on 2,7–20 mg/l. Yli 20 mg/l uuttuva kuparipitoisuus on kasvien muiden hivenravinteiden, esimerkiksi sinkin, saannin kannalta haitallinen.

TULOKSET JA TARKASTELU

Multamaissa pH(H₂O)-luku, uuttuva kuparipitoisuus ja kuparin kokonaispitoisuus olivat merkittävästi (t-testi) korkeammat kuin turvemaissa (Taulukko 2). Uuttuvan kuparipitoisuuden vaihteluväli oli multamaissa (1,1–24,3 mg/l) lähes yhtä laaja kuin turvemaissa (1,0–23,2 mg/l). Multamaiden ryhmässä oli 10 näytettä (19%) ja turvemaiden ryhmässä 19 näytettä (33%), joissa uuttuvaa kuparia oli alle 3,0 mg/l maata. Maat

Taulukko 2. Multa- ja turvemaiden keskimääräinen (keskiarvo \pm stand. poikk., vaihteluväli) pH(H₂O), irtotiheys (g/cm³), humuspitoisuus (%), märkä- tai kuivapoltoilla saatu kuparin kokonaispitoisuus (mg/l maata) ja HAA-EDTA:an uuttuva kuparipitoisuus (mg/l maata) sekä uuttuvan kuparin osuus kokonaiskuparista (%).

Table 2. pH(H₂O), bulk density (g/cm³), total Cu (mg/l soil) analysed after wet combustion or dry ashing, AAA-EDTA extractable Cu (mg/l soil), and the proportion (%) of extractable Cu on total Cu in mould and peat soils (mean \pm S.D., range).

	Multamaat - Mould soils		Turvemaat - Peat soils	
	Keskiarvo - Mean	Vaihtelu - Range	Keskiarvo - Mean	Vaihtelu - Range
pH(H ₂ O)	5,4 \pm 0,3	4,9-6,1	4,8 \pm 0,8	3,6-7,0
Irtotiheys - Bulk density	0,6 \pm 0,1	0,5-0,8	0,3 \pm 0,1	0,2-0,6
Humus	15,5 \pm 2,2	20,0-37,7	35,7 \pm 6,3	41,8-80,4
Kokonais-Cu - Total Cu				
- Märkäpoltto - Wet combustion	26,2 \pm 15,8	3-57	13,5 \pm 10,4	2-69
- Kuivapolto - Dry ashing	24,4 \pm 14,3	4-55	11,6 \pm 8,6	4-61
Uuttuva Cu - Extractable Cu	9,6 \pm 5,7	1,1-24,3	6,4 \pm 4,4	1,0-23,2
Uuttuva Cu, % kokonais-Cu - Extractable Cu, % of total Cu				
- Märkäpoltto - Wet combustion	40 \pm 13	17-80	47 \pm 14	15-93
- Kuivapolto - Dry ashing	41 \pm 11	20-59	53 \pm 20	22-97

kuuluvat siten "välttävään" tai sitä huonompiin viljavuusluokkiin (Viljavuustutkimuksen ... 1991). Aikaisemmissa tutkimuksissa uuttuvan kuparipitoisuuden kriittiseksi rajaksi esittivät Sillanpää ym. (1975) 1 mg/l maata ja Jokinen ja Tähtinen (1987) 2 mg/l.

Keskimääräinen uuttuva kuparipitoisuus multamaissa 9,6 \pm 5,7 mg/l ja turvemaissa 6,4 \pm 4,4 mg/l (Taulukko 2) olivat korkeammat kuin Sippolan ja Tareksen (1978) tutkimukseen vuonna 1974 kerättyssä koko valtakuntaa koskevassa viljelymaiden HAA-EDTA:an uuttuvan kuparipitoisuuden selvityksessä (multamaat 4,3 \pm 4,6 mg/l, saraturpeet 3,3 \pm 3,8 mg/l ja rahkaturpeet 0,6 \pm 0,4 mg/l). Erojen syynä on ehkä viljelymaiden kuparilannoituksen yleistyminen 1980-luvulla.

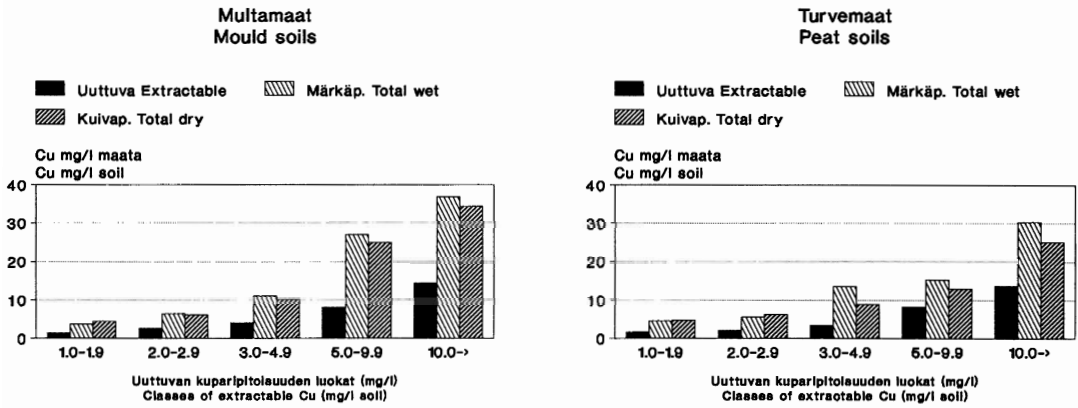
Märkäpoltolla saatiin keskimäärin hieman suuremmat kokonaiskuparipitoisuudet kuin kuivapoltoilla, koska happokäsittely hajoittaa maaineksia tehokkaammin kuin kuivapolto. Tuhkautusmenetelmien välinen ero oli vähäinen alle 10 mg/l kokonaiskuparia sisältävissä maissa, mutta kasvoi selvästi kokonaiskuparipitoisuuden lisääntymisen myötä (Kuva 1).

Turvemaissa oli kokonaiskuparia keskimäärin vain noin puolet multamaiden kokonaiskuparin pitoisuudesta, mutta pitoisuuden vaihtelualue oli turvemaissa multamaita laajempi (Taulukko 2). Aineistossa oli 9 multamaata (17%) ja 17

turvemaata (29%), joiden kuivapoltoilla saatu kokonaiskuparipitoisuus oli alle 8 mg/l. Alle tämän pitoisuuden kokonaiskuparia sisältävät maat luokiteltiin aikaisemmin kuparilannoitusta tarvitseviksi ja pitoisuuden optimialueena pidettiin 8-24 mg/l (Kähäri ym. 1987). Näyttää siltä, että nykyisessä uuttuvaan kuparipitoisuuteen perustuvassa luokituksessa useammat turvemaat kuuluvat kuparilannoitusta tarvitseviin viljavuusluokkiin kuin aikaisemmassa kokonaiskupariin perustuvassa luokituksessa.

Kuivapoltoilla saatu eloperäisten maiden kokonaiskuparipitoisuus oli tässä aineistossa (Taulukko 2) huomattavasti korkeampi kuin Kähäri ym. (1987) julkaisemassa selvityksessä Suomen peltojen viljavuudesta. Viljelijöiden analyysiin lähettämistä näytteistä koostuva aineisto saattoi vuosina 1981-1985 valikoitua alhaisiin viljavuusluokkiin, koska hivenravinneanalyysien teettäminen ei tuolloin ollut kovin yleistä.

Vaikka multamaiden kokonaiskuparipitoisuus oli noin kaksinkertainen turvemaihin verrattuna, uuttuva kuparipitoisuus oli vain puoli-toistakertainen (Taulukko 2). Multamaiden sisältämä kivennäisaines kohotti siis selvemmin kokonaiskuparin kuin uuttuvan kuparin pitoisuutta. Mäkيتين (1961) ja Sillanpään ja Lakasen (1966) tutkimusten mukaan hienojakoisen kivennäisaineksen kokonaiskuparipitoisuus on korkea.



Kuva 1. HAA-EDTA:an uuttuva kuparipitoisuus (mg/l) sekä märkä- tai kuivapoltolla saadut kokonaiskuparipitoisuudet (mg/l) uuttuvan kuparipitoisuuden (mg/l) mukaan luokitelluissa multa- ja turvemaissa.

Fig. 1. AAAC-EDTA extractable Cu (mg/l) and total Cu (mg/l, analysed after wet combustion or dry ashing) in mould and peat soils classified according to the AAAC-EDTA extractable copper content (mg/l).

Multamaiden kivennäisaineksen lajitekoostumusta tässä tutkimuksessa ei määritetty, mutta niiden kivennäismaa on yleensä peräisin pintaan alla olevista kerroksista. Osasta tutkimuksen multamaita oli tiedossa jankon (20–40 cm) maalaji (Taulukko 3). Kivennäismaiden maalajit nimettiin Aaltosen ym. (1949) laatiman ohjeen mukaan. Jokioisilla multamaan kivennäismaana oli aitosavi, Sotkamossa maalaji vaihteli hiesusta hienoon hietaan ja Ruukissa hienosta hiedasta karkeaan hietaan. Uuttuva kuparipitoisuus oli

Jokioisten multamaissa lähes sama kuin Sotkamon maissa, mutta kokonaiskuparia Jokioisten näytteet (43,5 mg/l) sisälsivät selvästi enemmän kuin Sotkamon (25,9 mg/l) tai Ruukin näytteet (6,2 mg/l).

Korrelaatioanalyysin mukaan vallitsi kummassakin maalajiryhmässä merkitsevä positiivinen vuorosuhde (multamaat $r = 0,75^{***}$, turvemaat $r = 0,88^{***}$) uuttuvan kuparipitoisuuden ja kokonaiskuparin välillä (Kuva 2). Multamaiden näytejoukko jakautui kuitenkin kahteen

Taulukko 3. Jankon maalajin (maalajit nimetty Aaltosen ym. 1949 mukaan) vaikutus multamaiden HAA-EDTA:an uuttuvan ja kokonaiskuparin pitoisuuteen (mg/l) sekä uuttuvan kuparin osuuteen (%) kokonaiskuparista.

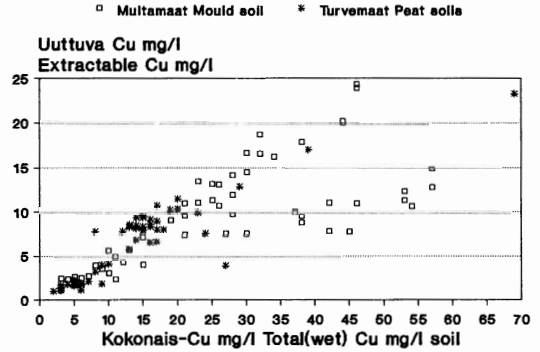
Table 3. Effect of soil type of subsoil (20–40 cm) on the content of AAAC-EDTA extractable Cu and total Cu (mg/l), and the proportion (%) of extractable Cu on total Cu in mould soils. Soil types are named according to Aaltonen et al. (1949).

Jankon maalaji Soil type of subsoil	Näytteitä, kpl No. of samples	Uuttuva Cu Extractable Cu	Kok.-kupari Total Cu		Uuttuva Cu, % kok.-kuparista Extractable Cu, % of the total	
			Märkäp. Wet comb.	Kuivap. Dry ash.	Märkäp. Wet comb.	Kuivap. Dry ash.
Jokioinen, Aitosavi Heavy clay	14	10,1 ± 2,3	43,5	38,3	23,2	26,3
Sotkamo, Hiesu-hieno hietä Silt-finer finesand	24	12,4 ± 5,7	25,9	24,7	47,7	49,6
Ruukki, Hieno hietä-hiekka Finer finesand	11	2,4 ± 0,6	6,2	6,1	42,6	38,9

osaan siten, että Jokioisilta otetut näytteet erotuivat omaksi ryhmäkseen. Siinä näytteiden uuttuva kuparipitoisuus oli alle 15 mg/l ja kokonaiskuparipitoisuus yli 30 mg/l maata.

Kummassakin maalajiryhmässä oli uuttumattonta kuparia (kokonaiskuparin ja uutuvan kuparin erotus, mg/l maata) vähän niissä näytteissä, joiden uuttuva kuparipitoisuus oli alle 3 mg/l (Kuva 1). Uuttumattoman kuparin pieni varasto on vakava osoitus maiden huonosta kuparitulasta. Uuttumaton kupari ei turvaa kasvien kuparin saantia, sillä se on tiukasti sitoutunut epäorgaanisiin ja orgaanisiin maa-aineksiin (Kerven ym. 1984, Lévesque & Mathur 1986).

Verrattaessa vähän uuttuvaa kuparia (alle 3 mg/l) sisältävien multamaiden uuttumattoman kuparin pitoisuuksia (Kuva 1) samojen näytteiden sinkkipitoisuutta koskeneen tutkimuksen tuloksiin (Urvas ym. 1992) todetaan, että vähän uuttuvaa sinkkiä (alle 2 mg/l) sisältäneissä multamaissa oli kuitenkin suuri uuttumattoman sinkin varasto. Multamaiden niukka uuttuva kuparipitoisuus on vakavampi osoitus kuparilannoituksen tarpeesta kuin niukka uuttuva sinkkipitoisuus sinkkilannoituksen tarpeesta.



Kuva 2. HAA-EDTA:an uutuvan kuparipitoisuuden (mg/l) riippuvuus kokonaiskuparin pitoisuudesta (mg/l, märkäpoltto) multa- ja turvemaissa.

Fig. 2. The dependence of extractable Cu (mg/l) on total Cu (mg/l, wet combustion) in mould and peat soils.

Uutuvan kuparin osuus kokonaiskuparista vaihteli koko aineistossa suuresti (Taulukko 2). Turvemaissa uutuvan kuparin osuus kokonaiskuparista kasvoi uutuvan pitoisuuden kohotessa (Taulukko 4). Uuttumattoman kuparin varasto

Taulukko 4. Uutuvan kuparin osuus (%) kokonaiskuparista (keskiarvo \pm stand. poikk.) HAA-EDTA:an uutuvan kuparipitoisuuden (mg/l), humuspitoisuuden (%) ja pH(H₂O)-luvun mukaan luokitelluissa multa- ja turvemaissa.

Table 4. The proportion (%) of extractable Cu on total Cu in mould and peat soils classified according to AAAC-EDTA extractable Cu content (mg/l), humus content (%) and pH(H₂O) (mean \pm S.D.).

	Multamaat – Mould soils		Turvemaat – Peat soils	
	Märkäp. – Wet comb.	Kuivap. – Dry ash.	Märkäp. – Wet comb.	Kuivap. – Dry ash.
Humuspitoisuus – Humus content				
20,0–29,9	42 \pm 15	43 \pm 13		
30,0–39,9	37 \pm 10	38 \pm 8		
40,0–49,9			38 \pm 11	38 \pm 10
50,0–59,9			39 \pm 7	29 \pm 7
60,0–69,9			57 \pm 11	67 \pm 18
70,0→			48 \pm 14	58 \pm 19
pH(H₂O)				
→3,99			59 \pm 5	75 \pm 7
4,00–4,99	40 \pm 25	41 \pm 5	49 \pm 17	56 \pm 22
5,00–5,49	40 \pm 12	42 \pm 10	42 \pm 6	40 \pm 9
5,50→	39 \pm 13	40 \pm 13	39 \pm 14	44 \pm 10
Uuttuva Cu – Extractable Cu				
1,0–1,9	33 \pm 10	23 \pm 8	37 \pm 10	33 \pm 6
2,0–2,9	28 \pm 14	23 \pm 10	39 \pm 7	35 \pm 7
3,0–4,9	39 \pm 8	41 \pm 8	35 \pm 13	42 \pm 5
5,0–9,9	34 \pm 13	36 \pm 11	55 \pm 11	66 \pm 15
10,0→	42 \pm 13	45 \pm 13	50 \pm 10	64 \pm 17

oli siis kuparitulaltaan hyvissä maissa suhteellisesti pienempi kuin niukkakuparisissa maissa. Kanadalaisissa eloperäisissä maissa (multamaita ja turpeita) oli keskimäärin 57% kokonaiskuparista uuttumattomana ja 28% lujasti kompleksoituneena (Lévesque & Mathur 1986).

Viljelykasvien lannoituksen tavoitteena tulisi olla määrältään ja laadultaan mahdollisimman hyvä sato, minkä vuoksi molemmat seikat vaikuttavat lannoitustarpeen arviointiin. Jokisen ja Tähtisen (1987) aikaisemmin tekemissä astiakoikeissa kauran jyväsato lisääntyi selvästi, kun turpeen uuttuva kuparipitoisuus kohosi 1 mg/l:n yläpuolelle (Taulukko 5). Jyväsadon muodostumisen kannalta maan uuttuvan kuparipitoisuuden kriittinen raja oli siis 1 mg/l. Kauran jyvien kuparipitoisuus kohosi vasta, kun maassa oli uuttuvaa kuparia yli 3 mg/l. Tutkimus tehtiin 31 turvenäytteellä, joista 11 sisälsi HAA-EDTA:an uuttuvaa kuparia alle 1 mg/l ja uuttuvan kuparin osuus kokonaiskuparista oli alle 30%.

Toisessa astiakoikeessa niukkakuparisella turvemaalla (HAA-EDTA:an uuttuva Cu 0,37 mg/l) jo melko vähäinen kuparilannoitus (0,22 kg/ha Cu) lisäsi kauran ja ohran jyväsatoa, mutta jyvien kuparipitoisuus kohosi vasta noin kymmenkertaisella lannoitemäärällä (Jokinen & Tähtinen 1988). Kuparin puute rajoittaa viljojen jyväsadon muodostumista, mutta kasvullisten osien reaktiot maan kuparipitoisuuteen ja kuparilannoitukseen ovat vähäiset (Karamanos ym. 1985, Jokinen & Tähtinen 1987). Kasvit tarvitsevat kuparia useiden entsyymien aktivoimiseen, ennen kaikkea valkuaisaineiden, hiilihydraattien ja ligniinin synteesin edistämiseen. Sen vuoksi kuparilla on ratkaiseva vaikutus sadon ravitsemukselliseen laatuun. Viljan jyvien korkea kupa-

ripitoisuus on välttämätön jyviä ravinnokseen käyttävien ihmisten ja eläinten terveydelle, esimerkiksi eläinten rehussa tulisi olla kuparia 10 mg kuiva-ainekilossa (Shorrocks & Alloway 1985).

Alle 30% humusta sisältävissä multamaissa olivat keskimääräiset uuttuvan ja kokonaiskuparin pitoisuudet korkeammat kuin 30–40% humusta sisältävissä multamaissa (Kuva 3). Uuttuvan kuparin osuus kokonaiskuparista oli lähes riippumaton multamaan humuspitoisuudesta (Taulukko 4).

Turvemaiden ryhmässä uuttuva kuparipitoisuus nousi lähes kaksinkertaiseksi maan humuspitoisuuden noustessa 40%:sta 70%:iin, kokonaiskuparin nousu oli huomattavasti vähäisempi (Kuva 3). Vähiten humusta sisältäviin turvemaihin oli ehkä lisätty maanparannusaineksi kärkeä kivennäismaata, jonka kuparipitoisuus oli alhainen. Yli 70% humusta sisältävissä turvemaissa oli uuttuvaa kuparia ja kokonaiskuparia jonkin verran vähemmän kuin 60–70%:n humuspitoisuuden maissa.

Runsaasti humusta sisältävien turvemaiden uuttuvan kuparipitoisuuden vähenemisen syynä lienee korkea humus- ja fulvohappojen määrä, joka sitoo kuparin uuttumattomaksi (Kerven ym. 1984). Lévesque ja Mathur (1986) totesivat, että tiukasti kolmpleksoituneiden fraktioiden määrä turvemaissa kasvaa humuksen määrän lisääntyessä, jolloin pienenevä osa kokonaiskuparista on kasveille käyttökelpoisena. Humuksen määrä säätelee voimakkaimmin kasveille käyttökelpoista kuparipitoisuutta turvemaassa (Ennis 1962).

Multamaiden uuttuvan kuparin ja kokonaiskuparin pitoisuudet kohosivat pH(H₂O)-luvun

Taulukko 5. Turvemaiden HAA-EDTA:n uuttuvan kuparin ja kokonaiskuparin pitoisuus (mg/l maata) sekä astiakoikeessa saadut kauran jyväsadot (g/astia) ja jyvien kuparipitoisuus (mg/kg Cu) Jokisen ja Tähtisen (1987) tutkimissa turvemaissa (keskiarvo ± stand. poikk.).

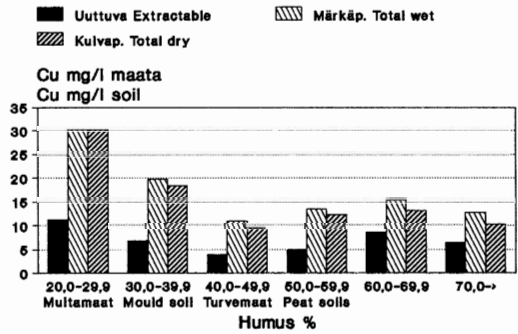
Table 5. AAAC-EDTA extractable Cu (mg/l soil) and total Cu (mg/l, dry ashing) in peat soils studied by Jokinen and Tähtinen (1987), and grain yield of oats (g/pot) and Cu content (Cu mg/kg) in grains according the pot experiment carried out with studied peat soils (mean ± S.D.).

Uuttuva Cu, luokat Extractable Cu, classes	n	Uuttuva Cu Extractable Cu	Kokonais-kupari Total Cu	Jyväsato Grains	Jyvissä Cu Cu in grains
→0,9	11	0,5 ± 0,1	1,6 ± 0,5	14,2 ± 13,5	1,53 ± 0,29
1,0–1,9	8	1,5 ± 0,3	4,7 ± 0,8	35,3 ± 15,1	1,68 ± 0,46
2,0–2,9	3	2,4 ± 0,3	4,6 ± 1,5	40,0 ± 4,4	1,73 ± 0,01
3,0→	9	7,6 ± 4,0	11,2 ± 5,2	40,7 ± 3,6	3,16 ± 0,84

nousun myötä, mutta pitoisuuksien kasvu oli vähäinen pH 5:n yläpuolella (Kuva 4). Uuttuvan kuparin osuus kokonaiskuparista pysyi muuttumattomana eri pH-luokissa (Taulukko 4). Turvemaissa uuttuvan kuparin ja kokonaiskuparin pitoisuudet olivat pienimmät pH-lukujen 5,0 ja 5,5 välillä. Tätä suuremmilla tai pienemmillä pH-arvoilla uuttuva kuparipitoisuus kasvoi. Eniten kokonaiskuparia sisälsivät turvemaat, joiden pH oli yli 5,5. Uuttuvan kuparin osuus kokonaiskuparista oli pienin pH-luokassa yli 5,5.

Happamissa maissa (pH<5) kupari esiintyy vapaana Cu²⁺:na tai pysymättöminä kompleksiyhdisteinä (McBride & Blasiak 1979, Jeffery & Uren 1983) ja pH-luvun nousu aiheuttaa kompleksiyhdisteiden muuttumisen lähes uuttumattomiksi (Jeffery & Uren 1983, Duquette & Hendershot 1990).

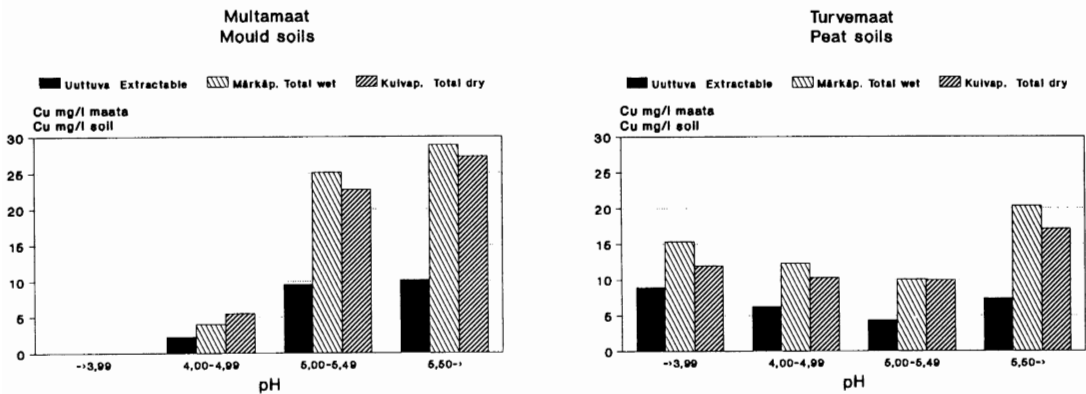
Eloperäisten maiden pieneen uuttuvaan kuparipitoisuuteen näytti liittyvän vähäinen kuparin kokonaispitoisuus, koska kokonaiskuparista vain noin kolmannes oli uuttuvana. Kasvien kuparin saanti alle 3 mg/l uuttuvaa kuparia sisältävissä eloperäisissä maissa tulee varmistaa. Viljakasvit tarvitsevat jyvien kuparipitoisuuden ko-



Kuva 3. HAA-EDTA:an uuttuva kuparipitoisuus (mg/l) sekä märkä- tai kuivapoltolla saadut kokonaiskuparipitoisuudet (mg/l) maan humuspitoisuuden (%) mukaan luokitelluissa multa- ja turvemaissa.

Fig. 3. AAAC-EDTA extractable Cu (mg/l) and total Cu (mg/l), analysed after wet combustion or dry ashing in mould and peat soils classified according to soil humus content (%).

hottamiseen enemmän kuparia kuin jyväsadon muodostumiseen.



Kuva 4. HAA-EDTA:an uuttuva kuparipitoisuus (mg/l) sekä märkä- tai kuivapoltolla saadut kuparin kokonaispitoisuudet (mg/l) maan happamuuden mukaan luokitelluissa multa- ja turvemaissa.

Fig. 4. AAAC-EDTA extractable Cu (mg/l) and total Cu (mg/l), analysed after wet combustion or dry ashing in mould and peat soils classified according to soil acidity.

KIRJALLISUUS

Aaltonen, V.T., Aarnio, B., Hyyppä, E., Kaitera, P., Keso, L., Kivinen, E., Kokkonen, P., Kotilainen, M.J., Saunamo, M., Tuorila, P. & Vuorinen, J. 1949: Maaperä-

sanaston ja maalajien luokituksen tarkistus v. 1949. (Summary: A critical review of soil terminology and soil classification in Finland in the year 1949.) —

- Maatal.tiet. Aikak. 21:37–66.
- Duquette, M. & Hendershot, W.H. 1990: Copper and zinc sorption on some B horizons of Quebec soils. — *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 21:377–394.
- Ennis, M.T. 1962: Some copper-complexing properties of peat. — *Irish J. Agric. Res.* 1:139–146.
- Huang, C.L. & Schulte, E.E. 1985: Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. — *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 16:943–958.
- Jeffery, J.J. & Uren, N.C. 1983: Copper and zinc species in the soil solution and the effect of soil pH. — *Aust. J. Soil Res.* 21:479–488.
- Jokinen, R. & Tähtinen, H. 1987: Copper content of coarse mineral and peat soils and the growth of oats in pot experiment. — *Ann. Agric. Fenn.* 26:227–237.
- Jokinen, R. & Tähtinen, H. 1988: Sensitivity to copper deficiency and response to copper fertilization of barley and oat varieties. — *Ann. Agric. Fenn.* 27:45–53.
- Karamanos, R.E., Fredette, 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.
- Kähäri, J., Mäntylähti, V. & Rannikko, M. 1987: Suomen peltojen viljavuus 1981–1985. (Summary: Soil fertility in Finnish cultivated soils in 1981–1985.) — *Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki.* 105 s.
- 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.
- Lévesque, M.P. & Mathur, S.P. 1986: Soil tests 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.
- Methods of soil and plant analysis. 1986: Agricultural Research Centre, Department of Soil Science. Jokiainen. 45 p.
- Mäkitie, O. 1961: Eräiden hivenaineiden esiintymisestä viljelymaissamme. (Summary: The occurrence of some trace elements in arable soils in Finland.) — *Agrogeol. Julk.* 78. 25 s.
- Shorrocks, V.M. & Alloway, B.J. 1985: Copper in plant, animal and human nutrition. — *Copper Development Association. London.* 84 pp.
- Sillanpää, M. & Lakanen, E. 1966: Readily soluble trace elements in Finnish soils. — *Ann. Agric. Fenn.* 5:298–304.
- Sillanpää, M., Lakanen, E., Tares, T. & Virri, K. 1975: Hivenaineiden uutto EDTA:lla tehostetulla happamalla ammoniumasetaatilla suomalaisista maista. — *Kehittyvä Maatalous* 21:3–13.
- Sippola, J. 1982: A comparison between a dry-combustion method and a rapid wet-combustion method for determining soil organic matter. — *Ann. Agric. Fenn.* 21:146–148.
- Sippola, J. & Tares, T. 1978: The soluble content of mineral elements in cultivated Finnish soils. — *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20:11–25.
- Urvas, L., Jokinen, R. & Hyvärinen, S. 1992: Uuttuva sinkki viljelyissä eloperäisissä maissa. (Summary: Extractability of zinc in cultivated organic soils.) — *Suo* 43:37–44.
- Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 1986: *Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki.* 64 s.
- Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 1991: *Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki.* 70 s.

SUMMARY:

EXTRACTABLE COPPER IN CULTIVATED ORGANIC SOILS

In Finland, acid (pH 4.65) ammonium acetate-EDTA (AAAc-EDTA) method is used to determine plant available Cu in agricultural soils instead of the previously used total Cu method. The present study included 54 mould and 58 peat soil samples taken from the top layer (0–20 cm) of cultivated soils.

The extractable content of Cu in mould soils (mean \pm S.D., 9.6 ± 5.7 mg/l soil) was about one and a half times that in peat soils (6.6 ± 4.4 mg/l) (Table 2). The total content of Cu in mould soils (wet combustion 26.2 ± 15.8 mg/l; dry ashing 24.4 ± 14.3 mg/l) was about two-fold compared to the content in peat soils (wet combustion 13.5 ± 10.4 ; dry ashing 11.6 ± 8.6 mg/l).

Total content of Cu was very low in soils containing extractable Cu less than 3 mg/l soil (Fig. 1), and the proportion of extractable Cu on the total was about 30% (Table 4). When the extractable Cu content was more than 10 mg/l soil its proportion on total was about 50%. The close positive dependence of extractable Cu on the total Cu was linear both in mould soils and peat soils (Fig. 2). In mould soils having heavy clay in subsoil, the total Cu content was high and extractable Cu content less than 15 mg/l soil (Table 3).

In mould soils the extractable and total content of Cu were highest below the humus content of 30% and in peat soils between humus contents

60 and 70% (Fig 3). The increase of pH(H₂O) value in mould soils increased the extractable Cu and the total Cu contents (Fig. 4). The proportion of extractable Cu on the total Cu was not dependent on soil pH. In peat soils both the extractable Cu and total Cu contents were lowest between pH values 5.0 and 5.5, and increased with both increasing and decreasing the acidity

of soil. The proportion of extractable Cu on the total Cu was lowest above pH values 5.5.

The contents of AAAC-EDTA extractable copper less than 3 mg/l soil in agricultural organic soils have to be taken as a serious indication of the need of copper fertilization because in these soils the amount of non-extractable reserve copper is low, too.

Received 15.V.1992

Approved 28.XII.1992