

MTT RAPORTTI 13

Teräskuonan sisältämän kromin ja vanadiinin kulkeutuminen perunaan

Anu Kankaala, Lea Hiltunen, Hanna Granberg, Rita Kallio ja Elina Virtanen



**Teräskuonan sisältämän
kromin ja vanadiinin
kulkeutuminen perunaan**

**Anu Kankaala, Lea Hiltunen, Hanna Granberg, Rita Kallio ja
Elina Virtanen**

ISBN: 978-952-487-305-5

ISSN 1798-6419

www-osoite: www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti13.pdf

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Anu Kankaala, Lea Hiltunen, Hanna Granberg, Rita Kallio ja Elina Virtanen

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2010

Kannen kuva: Anu Kankaala

Teräskuonan sisältämän kromin ja vanadiinin kulkeutuminen perunaan

Kankaala, Anu¹⁾, Hiltunen, Lea¹⁾, Granberg, Hanna¹⁾, Kallio, Rita²⁾ & Virtanen, Elina¹⁾

¹⁾MTT, Biotekniikka ja elintarviketutkimus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki,
etunimi.sukunimi@mtt.fi

²⁾Rautaruukki Oyj, Ruukki Metals, PL 93, 92101 Raahе, etunimi.sukunimi@ruukki.com

Tiivistelmä

Teräskuonia käytetään maataloudessa kalkitus- ja maanparannusaineena. Teräskuonat täyttävät lannoitevalmistelain 539/2006 ja siihen liittyvien asetusten määrittelemät laatuvaatimukset. Koska nykyään kiinnitetään yhä enemmän huomiota elintarvikkeiden turvallisuuteen ja terveellisyyteen, koko tuotantoketjun, mm. kalkitus- ja maanparannusaineiden, vaikutus lopputuotteeseen on tunnettava.

MTT Ruukki selvitti vuonna 2009 teräskuonan sisältämien alkuaineiden, erityisesti kromin ja vanadiinin kertymistä maahan ja kulkeutumista perunan eri osiin. Kasvihuoneessa toteutetuissa astiakokeissa verrattiin Rautaruukki Oyj:n Raahen tehtaan teräskuonan kahden normaalin käyttömäärän (5 t/ha ja 10 t/ha) ja ylisuuren määrän (50 t/ha) vaikutusta maan ja perunan eri osien alkuainepitoisuuksiin. Maalajeina tutkimuksessa käytettiin vähämultaista ja runsasmultaista karkeaa hietaa ja perunalajikkeena Famboa. Kokeet perustettiin tammi-helmikuussa 2009 ja sato korjattiin perunoiden tuleennuttua kesäkuussa.

Teräskuonan normaalit käyttömäärät (5 ja 10 t/ha) eivät lisänneet maan kromi- tai vanadiinipitoisuuksia tilastollisesti merkitsevästi. Normaaliin peruskalkituksen käyttömääriin verrattuna kymmenkertainen teräskuonan määrä (50 t/ha) lisäsi kummankin tutkimuksessa käytetyn maan sekä kromi- että vanadiinipitoisuutta. Runsmultaisen maan kromi- ja vanadiinipitoisuudet nousivat vähämultaista maata enemmän. Ihmiselle ja ympäristölle haitallisen kuudenarvoisen kromin pitoisuus maassa oli alle määritysrajan kaikilla teräskuonan käyttömäärillä.

Teräskuonan normaalit käyttömäärät eivät lisänneet perunan mukuloiden ja lehtien kromi- ja vanadiinipitoisuuksia. Perunan juurien kromi- ja vanadiinipitoisuudet olivat huomattavasti lehtien ja mukuloiden pitoisuuksia korkeampia. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että kromi ja vanadiini voivat kertyä perunan juuriin, mutta kulkeutuvat perunan muihin osiin vain vähäisissä määrin. Perunan lehtien piipitoisuuksiin teräskuona ei vaikuttanut. Teräskuonan kaikilla käyttömäärillä perunan mukuloiden ravinnepitoisuudet vastasivat keskimääräisiä aiemmissä tutkimuksissa havaittuja mukuloiden ravinnepitoisuuksia.

Avainsanat:

Peruna, Solanum tuberosum, teräskuona, kromi, vanadiini, pii, ravinteet

Chromium and vanadium absorption by potato

Kankaala, Anu¹⁾, Hiltunen, Lea¹⁾, Granberg, Hanna¹⁾, Kallio, Rita²⁾ & Virtanen, Elina¹⁾

¹⁾MTT Agrifood Research Finland, Biotechnology and Food Research, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki, Finland, firstname.lastname@mtt.fi

²⁾Rautaruukki Oyj, Ruukki Metals, PL 93, 92101 Raahe, firstname.lastname@ruukki.com

Abstract

In Finland, steel slags are used in agriculture as liming agents and fertilizers. Steel slags fulfil the quality requirements set by the Finnish fertilizer law. As more attention is paid to the safety and healthiness of food it is important to know how different factors affecting the production chain including fertilizer and liming agents affect the endproduct.

In 2009, MTT Ruukki investigated the effect of steel slags on the content of chromium and vanadium in soil, potato leaves, roots and tubers. The study was carried out as pot experiments in the greenhouse using steel slags from Rautaruukki corporation's steelworks in Raahe. Two different rates (5 and 10 t/ha) of steel slags normally used in potato production were compared to a 10-fold rate (50 t/ha) and to an untreated control (0 t/ha). Medium fine sand with low or high organic matter content was used as growing medium. Potatoes of cultivar Fambo were planted in pots in January-February 2009 and grown to maturity.

Steel slags used at the rates of 5 and 10 t/ha did not significantly increase the concentration of chromium and vanadium in soils. However, the 10-fold compared to the normal basal rate (50 t/ha) increased the vanadium content in both soils. The level of Cr(VI) was under detection limit in all soils. The rates of steel slag normally used in potato production did not affect chromium and vanadium contents in potato tubers, leaves and roots. The chromium and vanadium contents in potato roots were considerably higher than those in leaves and tubers. This study indicates that chromium and vanadium taken up by potato remain mainly in roots and are not transported to tubers and leaves to a great extend. Chromium and vanadium contents in tubers did not exceed the risk levels for human even with the highest rates of the steel slags used. Steel slag did not affect the silicon content of potato leaves.

Keywords:

Potato, Solanum tuberosum, steel slag, chromium, vanadium, silicon, nutrients

Sisällysluettelo

1 Johdanto	6
2 Aineisto ja menetelmät.....	7
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	9
3.1 Teräskuonan vaikutus maan ravinnetilaan	9
3.1.1 Kromi (Cr).....	11
3.1.2 Vanadiini (V)	12
3.1.3 Muut ravinteet	13
3.2 Teräskuonan vaikutus perunan ravinteiden ottoon.....	14
3.2.1 Kromi (Cr).....	17
3.2.2 Vanadiini (V)	18
3.2.3 Muut ravinteet	20
4 Yhteenveto	23
5 Kirjallisuus	24
6 Liitteet	26

1 Johdanto

Teräskuonia käytetään maataloudessa kalkitus- ja maanparannusaineena ja niiden soveltuvuus perunantuotannossa käytettäväksi on havaittu useissa tutkimuksissa (Hakkola 1984, 1993; Hiltunen ym. 2007a,b). Lannoitevalmistelaki (539/2006) ja siihen liittyvät asetukset määrittelevät maanparannusaineiden vähimmäislaatuvaatimukset sekä niiden sisältämien raskasmetallien enimmäispitoisuudet. Kuonien ominaisuudet ja alkuainepitoisuudet täyttävät nämä vaatimukset. Elintarvikkeiden osalta on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota tuotteiden terveellisyyteen ja turvallisuuteen. Tämän vuoksi koko tuotanto- ja valmistusketjun vaikutus lopputuotteeseen on tunnettava. Yhtenä keskeisenä osana on tieto siitä, miten käytettävät lannoitteet, kalkitusaineet ja mahdolliset torjunta-aineet vaikuttavat lopputuotteeseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää astiakokeissa teräskuonan sisältämien alkuaineiden vaikutuksia maan alkuainepitoisuuksiin sekä niiden kulkeutumista maasta perunan eri osiin. Kokeissa selvitettiin erityisesti kromin ja vanadiinin kulkeutumista perunan lehtiin, juuriin ja mukuloihin ja siten teräskuonien käytön turvallisuutta kuluttajanäkökulmasta.

Kromi on redox-aktiivinen metalli, jonka haitallisuus riippuu sen hapetusasteesta. Kromia esiintyy maaperässä hapetusasteilla +3 ja +6. Kolmenarvoinen kromi on ihmisille ja kasveille tärkeä hivenaine. Sen sijaan kuudenarvoinen kromi on myrkyllinen sekä ihmisille että kasveille. Se on syövyttävä, karsinogeeninen (ATSDR 2008) ja mutageeninen (DEFRA 2002). Kromi voi aiheuttaa mm. vatsahaavaa, munuais- tai maksavaurioita. Ihmiset altistuvat kromille sitä sisältävien ruoka-aineiden välityksellä. Esimerkiksi monet tuoreet hedelmät ja vihannekset, liha tai vilja saattavat sisältää kromia. Lisäksi kromille altistumista voivat aiheuttaa kromia käyttävä teollisuus (kromaus, nahan parkitsemien ja väriaineiden ja sementin valmistus), liikenne sekä jätemaiden kaatopaikat (ATSDR 2008).

Vanadiini on maaperässä yleisimmin hapetusasteilla +3, + 4 ja +5 esiintyvä metalli (ATSDR 2009). Vanadiinin haitallisuus lisääntyy hapetusasteen kasvaessa ollen haitallisinta hapetusasteella + 5 (Heikkinen 2000; Gustafsson & Johnsson 2004). Vanadiinin tarpeellisuudesta ihmisille ja kasveille ei ole varmuutta. Sillä on kuitenkin osoitettu olevan merkitystä joidenkin levien ja bakteerien fotosynteesille ja typensidonnalle (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Lisäksi vanadiini vaikuttaa ihmisillä verenpaineeseen ja solujen jakautumiseen, sekä lieventää mm. diabeteksen ja bipolaarisen syndrooman oireita (Gustafsson & Johnsson 2004). Toisaalta vanadiini voi aiheuttaa pahoinvointia, vatsakrampeja ja keuhkosityöpää. Eniten altistusta vanadiinille aiheuttavat sitä sisältävät ruoka-aineet, kuten äyriäiset, sienet ja pinaatti. Vanadiinia käytetään ruosteenestoaineiden, teräksen ja keramiikan valmistuksessa sekä jossain lisäravinteissa, jotka voivat aiheuttaa vanadiinille altistumista (ATSDR 2009).

2 Aineisto ja menetelmät

Astiakokeet perustettiin MTT Ruukin kasvihuoneelle tammikuussa (astiakoe 1) ja helmikuussa (astiakoe 2) 2009. Kokeissa käytettiin Rautaruukki Oyj:n Raahan tehtaan valmistusprosessissa syntynyttä teräskuonaa. Teräskuonan käyttömäärät olivat normaalien maanparannusaineena käytettävien yllärito- ja peruskalkitusmäärien, 5 t/ha ja 10 t/ha, lisäksi kymmenkertainen määrä, 50 t/ha. Astiakokeissa käytettyjen maiden maalaji oli perunantuotannossa tyypillistä karkeaa hietaa (KHt). Astiakokeen 1 maa oli multavuudeltaan vähämultaista ja astiakokeen 2 runsasmultaista. Vähämultaisen maan pH oli 5.8 ja runsasmultaisen maan pH 6.0. Kokeessa 1 käytetyn maan kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat alhaiset, kun taas astiakokeessa 2 käytetyn maan kalium- ja mangaanipitoisuudet olivat alhaiset. Lisäksi kummassakin maassa natriumpitoisuus oli erittäin alhainen. Tarkemmat viljavuustiedot ovat taulukossa 1.

Kokeiden perunalajikkeena oli ruokaperunateollisuudessa käytetty Fambo. Siemenperunoita idätettiin kaksi viikkoa ennen istutusta. Peruslannoituksena käytettiin Perunan Y1-lannoitetta 625 kg/ha (N:50, P:31, K:119). Kokeet nostettiin niiden tuleennuttua kesäkuussa 2009.

Taulukko 1. Astiakokeissa käytettyjen maiden viljavuustiedot.

Koe	Maalaji	Multavuus	Jl	pH	Ravinne (mg/l)									
					Ca	K	Mg	P	Cu	Mn	Zn	Na	S	Ca/Mg
Astiakoe 1	KHt	vm	0,8	5,8	379,4	82	49	18,6	2,9	25,3	3,4	5,5	10,9	7,7
Astiakoe 2	KHt	rm	0,8	6	979,9	36,7	139	5,6	2,8	11,4	1,6	7,3	12,2	7,1

Astiakokeiden kasvustoista havainnoitiin taimettuminen, kehitysasteet ja ravinteiden puutosoireet. Kehitysastehavainnot tehtiin mukaillen Hack ym. (1993) asteikkoa (Liite 1). Puutosoireet määritettiin oireen peittämän alan prosenttiosuutena kokonaislehtialasta. Kasvustosta otettiin lehtinäytteet ennen nappuvaihetta. Lehtinäytteistä analysoitiin kromi-, pii- ja vanadiinipitoisuudet. Kokeen päätyttyä kasvustosta otettiin juuri- ja mukulanäytteet. Juurinäytteistä määritettiin kromi- ja vanadiinipitoisuudet ja mukulanäytteistä kuiva-aine-, kalsium-, magnesium-, kalium-, rikki-, kromi- ja vanadiinipitoisuudet. Kasvustonäytteiden kromi- ja vanadiinipitoisuudet analysoitiin HNO₃/HCL märkäpolton jälkeen ICP-OES-(Cr) tai GFAAS- (V) –menetelmällä ja Si-pitoisuudet HNO₃/HF mikroaaltouuniliuotuksen jälkeen ICP-OES -menetelmällä. Mukuloiden ravinneanalyyseissa tehtiin kuivapoltto ja suolahappoliuotus, joiden jälkeen ravinnepitoisuudet määritettiin FAAS:lla.

Ennen astiakokeiden perustamista käytetyistä maa-aineista tehtiin viljavuus- ja alkuainemääritykset. Kokeiden päätyttyä maanäytteet otettiin ruuduittain. Maanäytteistä määritettiin pH ja kaksikymmentä alkuainetta: kalsium, fosfori, kalium, magnesium, kupari, mangaani, sinkki, rikki, natrium, arseeni, barium, kadmium, koboltti, kromi, molybdeeni, nikkeli, lyijy, antimoni, vanadiini ja sinkki. Alkuaineanalyytit tehtiin HNO₃/HCl-liuotuksen jälkeen ICP-OES:lla ja viljavuusanalyytit hapan ammoniumasettaatti-EDTA-uuton jälkeen ICP-OES:lla. Lisäksi maanäytteistä analysoitiin kuudenarvoinen kromi spektrofotometrisellä 1,5-difenylikarbatsidimenetelmällä. Myös astiakokeissa käytetystä teräskuonasta tehtiin alkuaineanalyyssi. Teräskuonan alkuainepitoisuudet ovat taulukossa 2.

Viljavuus-, ravinne- ja kasvianalyyseissä käytetyt menetelmät perustuvat kansainvälisiin standardeihin SFS-ISO, ASTM, EPA, CEN (Suomen ympäristöpalvelu Oy, 2010) tai muulla tavoin yleisesti hyväksytyihin menetelmiin (Agricultural Research Centre, 1986). Kasvi- ja maanäytteiden alkuaine- ja viljavuusanalyytit

tehtiin Suomen Ympäristöpalvelu Oy:ssä, kuuden arvoisen kromin analyytit Labtium Oy:ssä.

Tulosten tilastollinen analysointi suoritettiin SAS EG 4.1-ohjelman Mixed Models-proseduurilla. Tuloskaavioissa virhepalkit kuvaavat Microsoft Excel-ohjelmalla laskettuja havaintojen keskihajontoja.

Taulukko 2. Astiakokeissa käytetyn teräskuonan alkuainepitoisuudet.

Alkuainepitoisuus mg/kg kuiva-ainetta			
Kalsium (Ca)	329 000	Kadmium (Cd)	am
Magnesium (Mg)	12 800	Koboltti (Co)	am
Alumiini (Al)	7 400	Kromi (Cr)	1550
Rauta (Fe)	164 000	Kupari (Cu)	am
Kalium (K)	220	Mangaani (Mn)	23600
Natrium (Na)	270	Molybdeeni (Mo)	3,9
Fosfori (P)	2070	Nikkeli (Ni)	2,1
Rikki (S)	930	Lyijy (Pb)	7,4
Titaani (Ti)	4290	Antimoni (Sb)	am
Arseeni (As)	am	Seleeni (Se)	am
Boori (B)	24,4	Tina (Sn)	am
Barium (Ba)	87,4	Vanadiini (V)	12800
Beryllium (Be)	am	Sinkki (Zn)	am

am, alle määrittämissärajat; määrittämissärajat: As 3 mg/kg, Be 0,5 mg/kg, Cd 0,3 mg/kg, Co 1 mg/kg, Cu 10 mg/kg, Sb 4 mg/kg, Se 4 mg/kg, Sn 2 mg/kg ja Zn 3 mg/kg.

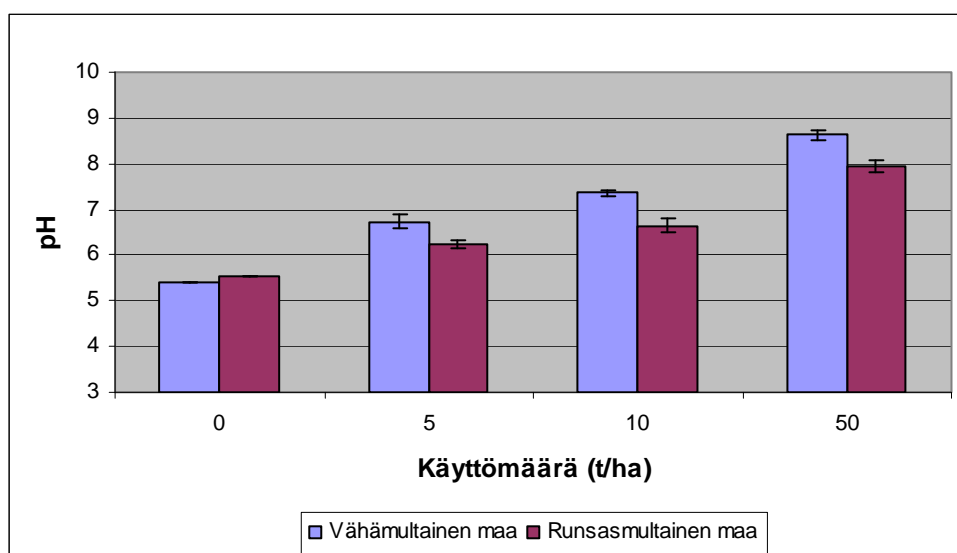
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Teräskuonan vaikutus maan ravinnetilaan

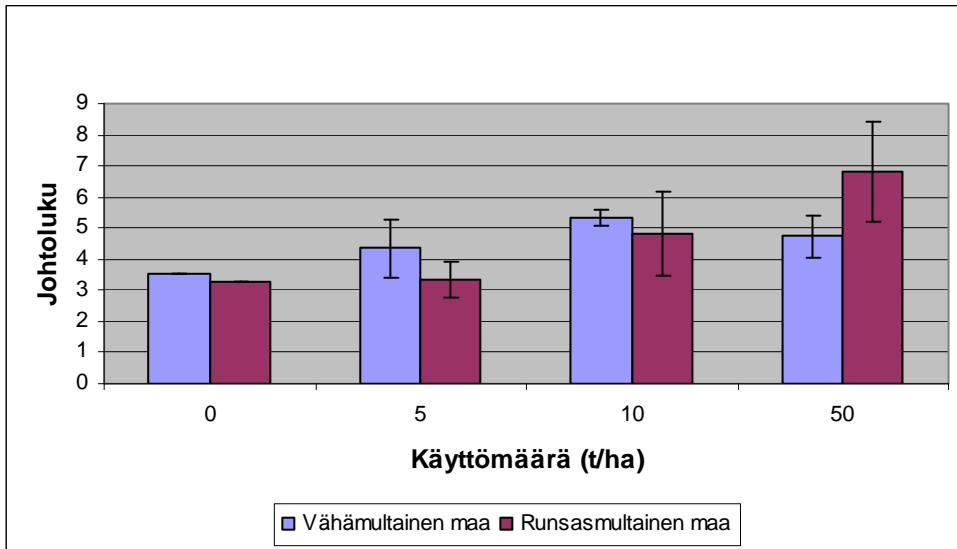
Teräskuonan lisäys nosti maan pH:ta kummassakin astiakokeessa kaikilla käyttömäärillä. Vähämultaisen maan pH nousi runsasmultaisen maan pH:ta enemmän (Kuva 1). Runsasmultaisen maan pH-arvon maltillisempi nousu johtunee maan suuremmasta humuspitoisuudesta ja siten paremmasta puskurointikyvystä.

Kummallakaan maalla 5 t/ha kuonaliäys ei nostanut johtolukua kontrolliin verrattuna (Kuva 2). Vähämultaisella maalla 10 t/ha kuonaliäys ja runsasmultaisella maalla 50 t/ha nosti johtolukua merkitsevästi.

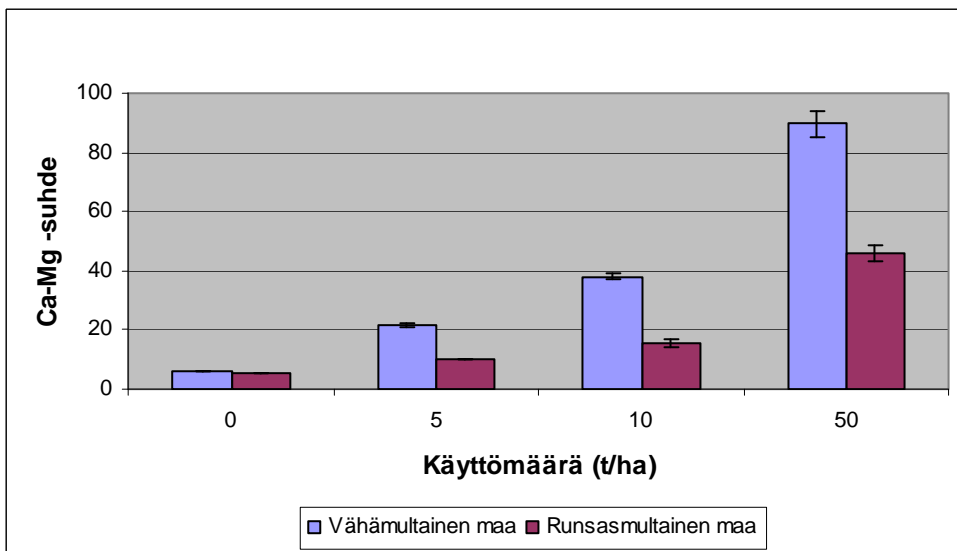
Teräskuonan liäys nosti Ca-Mg -suhdetta sekä vähä- että runsasmultaisella maalla kaikilla käyttömäärillä (Kuva 3). Vähämultaisella maalla Ca-Mg -suhde nousi kaikilla käyttömäärillä kaksinkertaiseksi runsasmultaiseen maahan verrattuna. Kalsium että magnesium ovat pH-riippuvaisia ravinteita ja niiden liukoisuus liäyntyä pH:n noustessa, mikä tuli esille tutkimuksessa Ca-Mg -suhteen nousuna pH:n noustessa.



Kuva 1: Eri teräskuonamäärien vaikutus vähä- ja runsasmultaisen maan pH-arvoon.



Kuva 2: Eri teräskuonamäärien vaikutus vähä- ja runsasmultaisen maan johtolukuun.

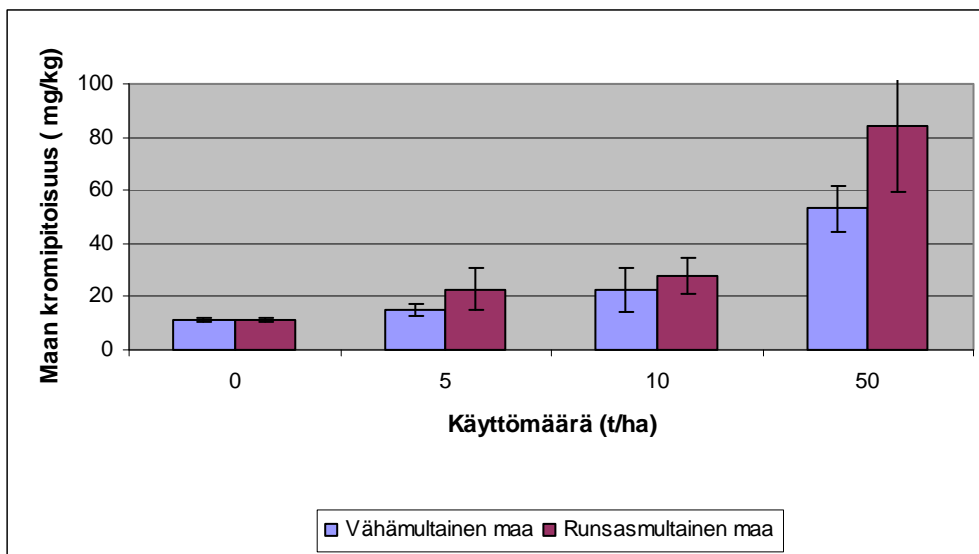


Kuva 3: Eri kuonamäärien vaikutus vähä- ja runsasmultaisen maan Ca-Mg -suhteeseen.

3.1.1 Kromi (Cr)

Molemmissa astiakokeissa käytetyn maan kromipitoisuus oli 10,7 mg/kg kuiva-ainetta. Kaikki teräskuonan käyttömäärät lisäsivät maan kromipitoisuutta jonkin verran, mutta vain ylisuuri (50 t/ha) käyttömäärä tilastollisesti merkitsevästi (Kuva 4). Vähämultaisella maalla kromipitoisuudet kohosivat vähemmän kuin runsasmultaisella maalla. Myös aiemmin (2004-2007) tehdyissä kenttäkokeissa vain ylisuuri (50 t/ha) teräskuonan käyttömäärä lisäsi maan kromipitoisuutta (Hiltunen ym. 2007a). Kromin taustapitoisuus Suomessa on Valtioneuvoston asetuksen mukaan 31 mg/kg kuiva-ainetta (Valtioneuvosto 2007).

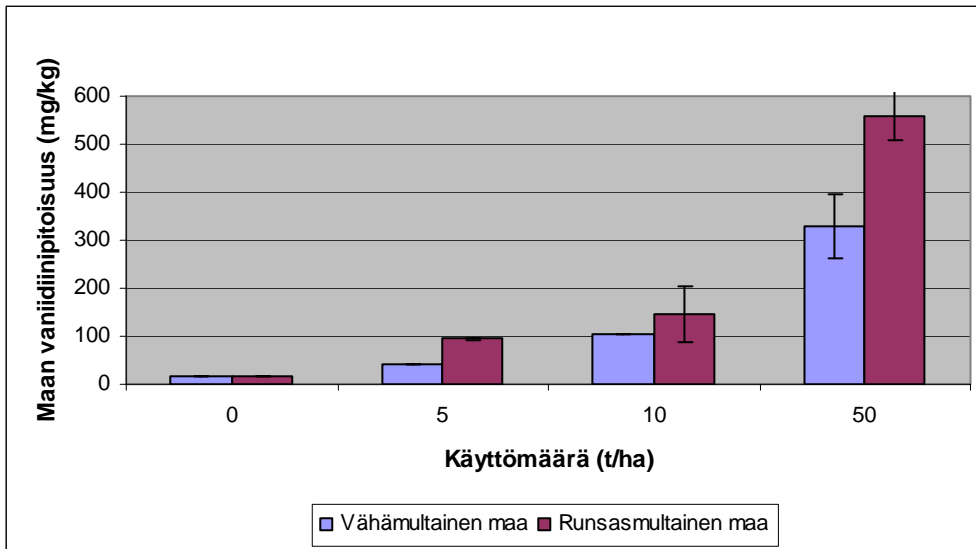
Astiakokeista käytetyistä maista määritettiin myös kuudenarvoisen kromin pitoisuudet, jotka kuitenkin jäivät alle määrittämissä kaikilla teräskuonan käyttömäärillä.



Kuva 4: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset maan kromipitoisuuksiin.

3.1.2 Vanadiini (V)

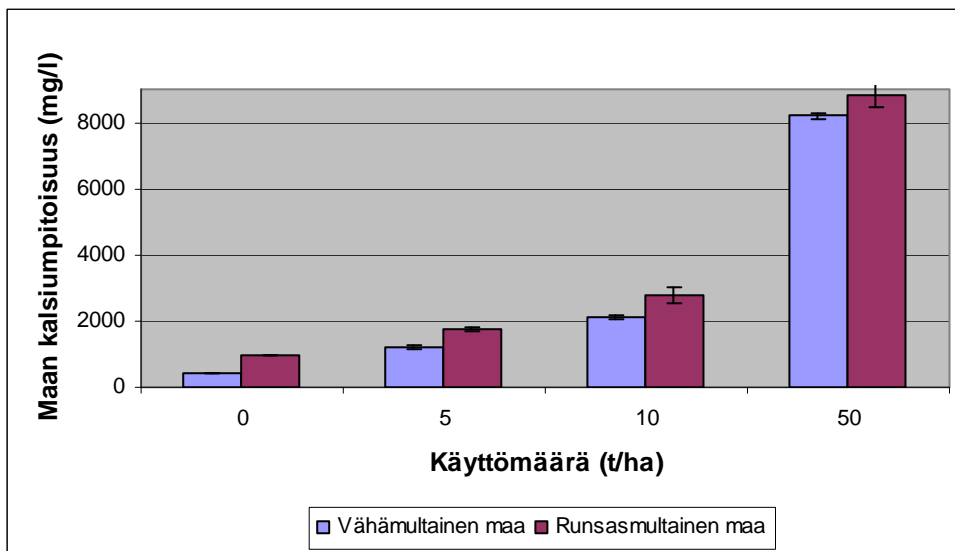
Vanadiinipitoisuus astiakokeissa käytetyssä vähämultaisessa maassa oli 15,5 mg/kg kuiva-ainetta ja runsasmultaisessa maassa 16,3 mg/kg kuiva-ainetta. Maan vanadiinipitoisuudet kohosivat kaikilla teräskuonan käyttömäärillä, mutta vain ylisuuri (50 t/ha) kuonamäärä lisäsi pitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi (Kuva 5). Vähämultaisella maalla vanadiinipitoisuudet kohosivat vähemmän kuin runsasmultaisella maalla. Suomessa vanadiinin taustapitoisuus on Valtioneuvoston asetuksen mukaan 38 mg/kg kuiva-ainetta (Valtioneuvosto 2007).



Kuva 5: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset maan vanadiinipitoisuuksiin.

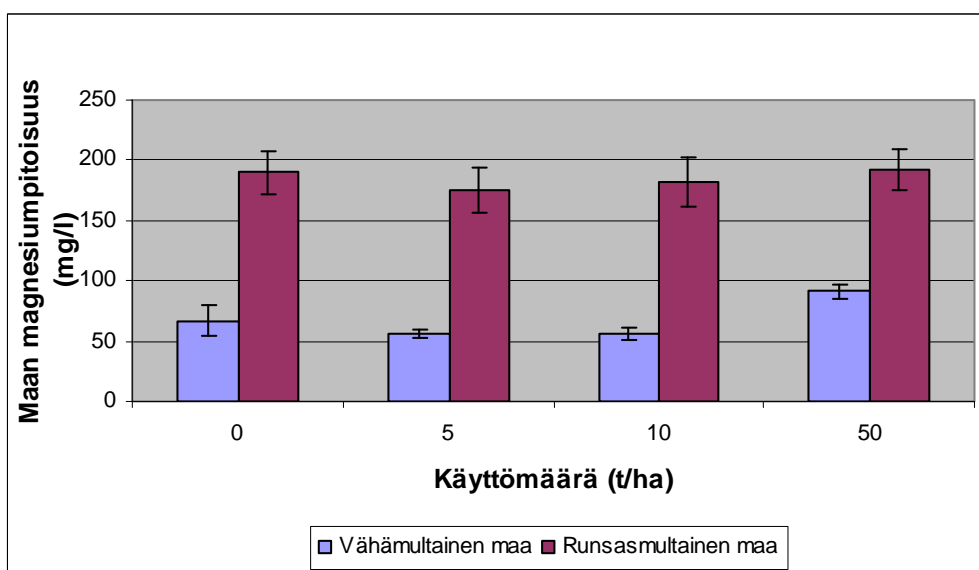
3.1.3 Muut ravinteet

Teräskuonan kaikki käyttömäärät lisäsivät maan kalsiumpitoisuutta (Ca) (Kuva 6). Runsasmultaisella maalla kalsiumpitoisuudet olivat vähämultaista maata korkeampia. Käsittelemättömän runsasmultaisen maan kalsiumpitoisuus oli 993 mg/l ja vähämultaisen maan 400 mg/l. Normaaleilla kuonan käyttömäärillä (5 ja 10 t/ha) pitoisuudet olivat vähämultaisella maalla 1205 mg/l ja 2108 mg/l sekä runsasmultaisella maalla 1755 mg/l ja 2783 mg/l. Ylisuurella 50 t/ha käyttömäärällä pitoisuudet olivat korkeita, vähämultaisella maalla 8193 mg/l ja runsasmultaisella maalla 8820 mg/l. Maan pH-arvot nousivat kalsiumpitoisuuksien noustessa.



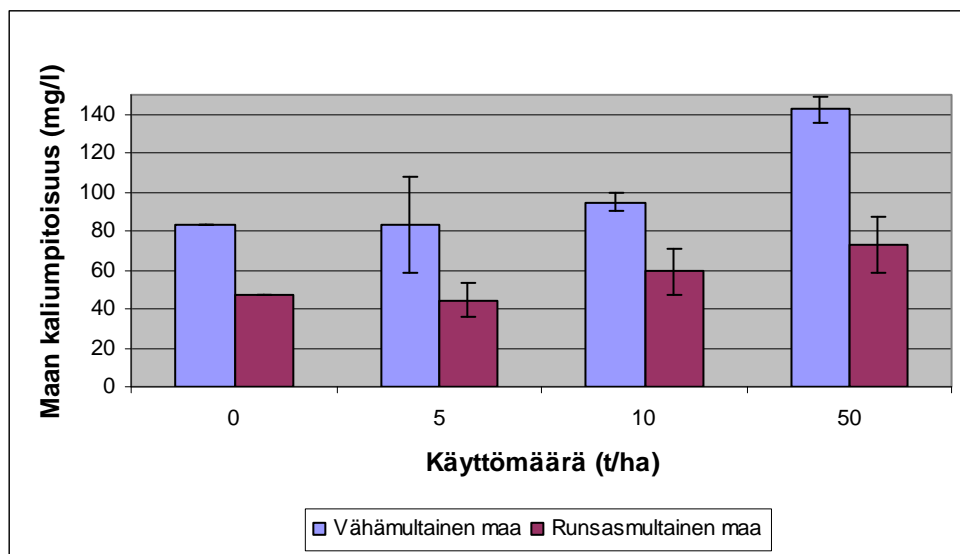
Kuva 6: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset maan kalsiumpitoisuuksiin.

Maan magnesiumipitoisuudet (Mg) olivat runsasmultaisella maalla kaikilla käyttömäärillä vähämultaista maata korkeammalla tasolla (Kuva 7). Runsasmultaisella maalla kontrollin magnesiumipitoisuus oli 190 mg/l ja vähämultaisella 67 mg/l. Runsasmultaisella maalla teräskuona ei vaikuttanut maan magnesiumipitoisuuteen, kun taas vähämultaisella maalla ylisuuri (50 t/ha) käyttömäärä lisäsi maan magnesiumipitoisuutta.



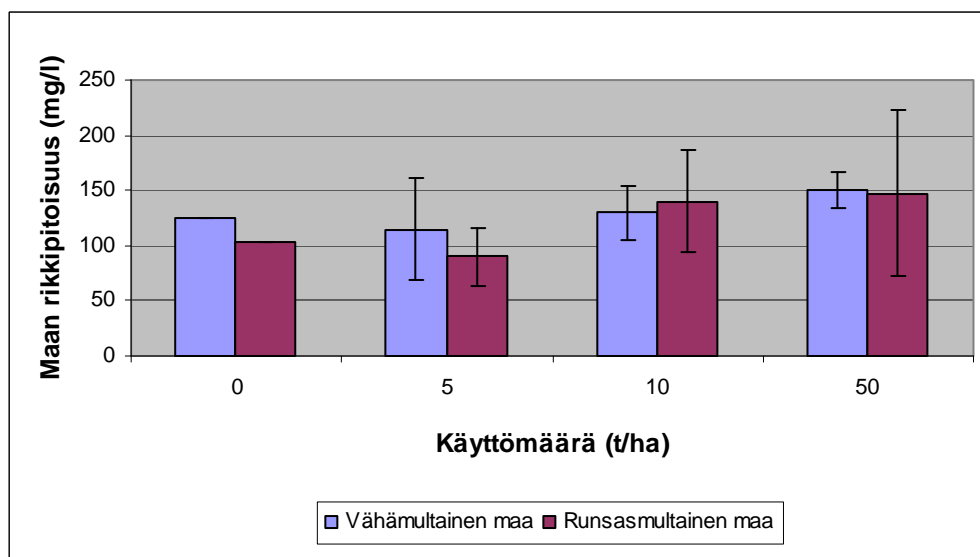
Kuva 7: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset maan magnesiumipitoisuuksiin.

Vähämultaisessa maassa vain teräskuonan ylisuuri käyttömäärä (50 t/ha) ja runsasmultaisessa maassa 50 ja 10 t/ha käyttömäärät lisäsivät maan kaliumpitoisuutta (Kuva 8).



Kuva 8: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset maan kaliumpitoisuuksiin.

Teräskuonalisäykset eivät vaikuttaneet maan rikkipitoisuuksiin (S). Pitoisuudet kokeissa vaihtelivat välillä 0-150 mg/l (Kuva 9).

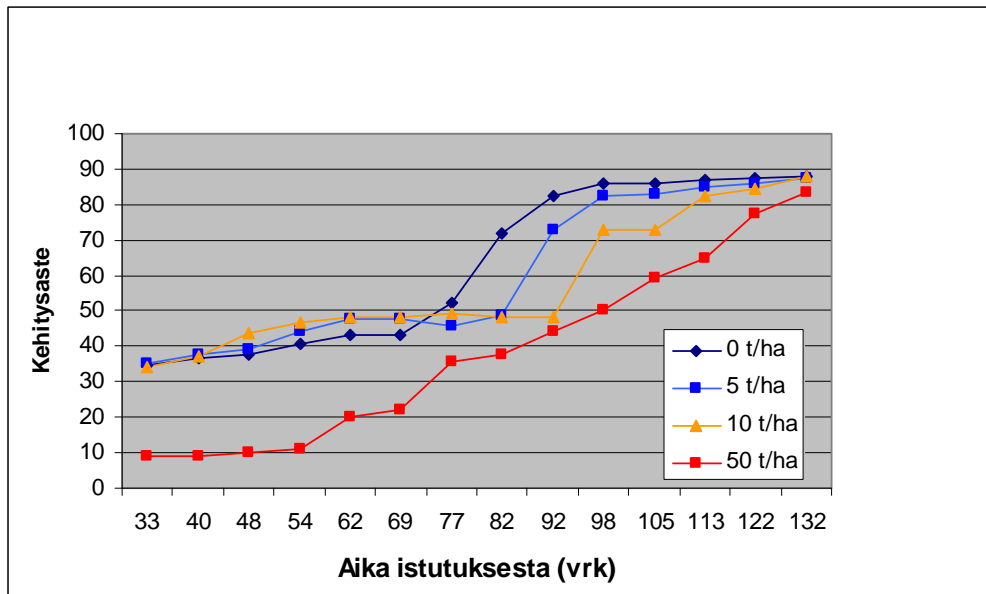


Kuva9: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset maan rikkipitoisuuksiin.

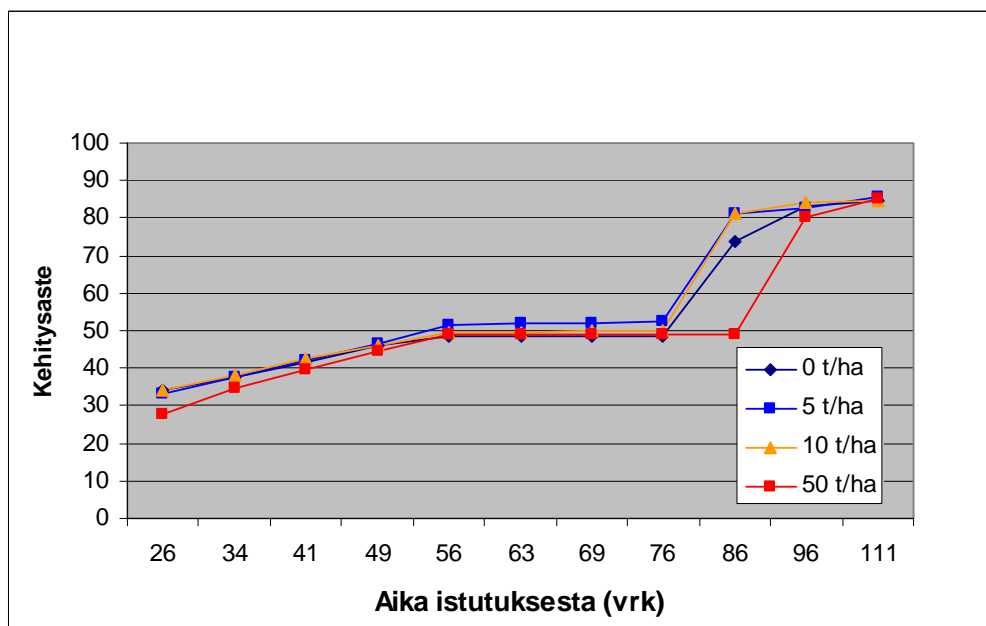
3.2 Teräskuonan vaikutus perunan ravinteiden ottoon

Vähämultaisessa maassa perunat taimettuivat tasaisesti 21 vuorokaudessa käytettäessä 0, 5 ja 10 t/ha kuonamääriä. Ylisuurella 50 t/ha kuonamäärällä taimettuminen viivästy i 64 vuorokauteen. Ylisuuri kuonamäärä hidasti myös kasvuston kehitystä (Kuva 10).

Runsasmultaisella maalla toteutetun astiakokeen taimettuminen oli huomattavasti tasaisempaa. Teräskuonan ylisuurella (50 t/ha) käyttömäärällä taimettuminen tapahtui vain 1-2 vuorokautta muita käyttömääriä myöhemmin. Kasvustojen kehitys oli tasaista, joskin ylisuuri käyttömäärä viivästytti perunoiden tuleentumista (Kuva 10).

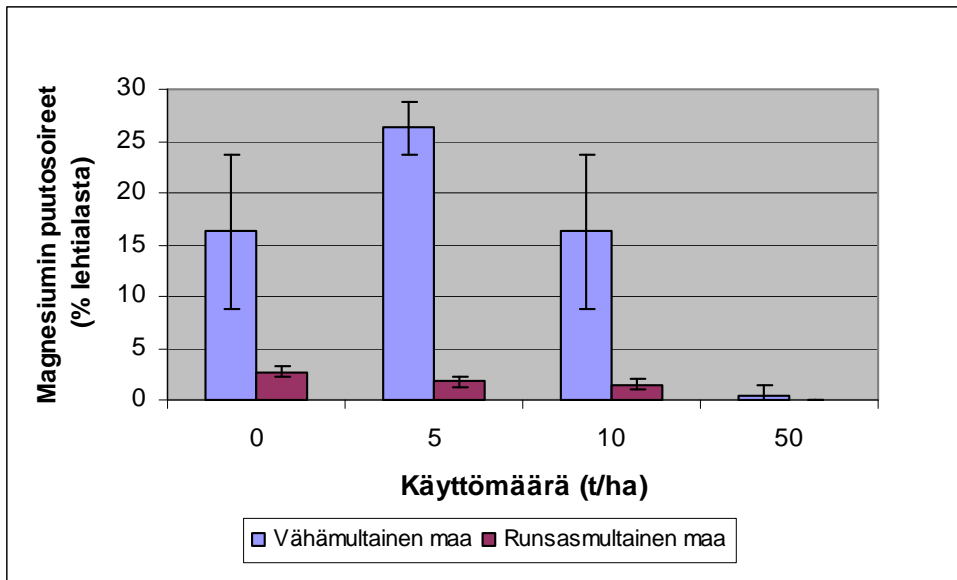


Kuva 10: Kasvuston kehittyminen vähämultaisella maalla toteutetussa kokeessa. Kehitysasteet mukaillen Hack ym. (1993)(Liite 1).

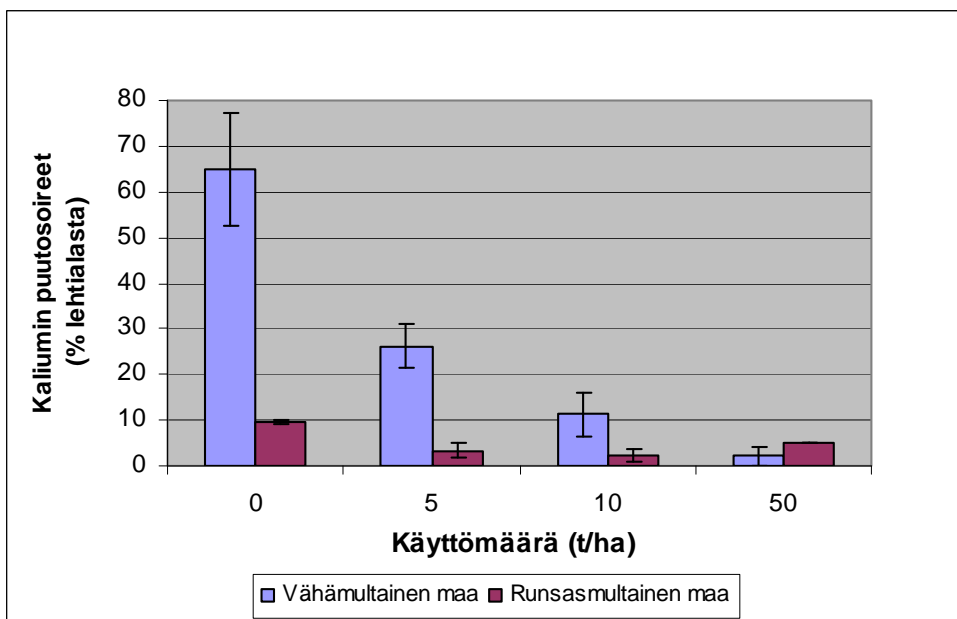


Kuva 11: Kasvuston kehittyminen runsasmultaisella maalla toteutetussa kokeessa. Kehitysasteet mukaillen Hack ym. (1993) (Liite 1).

Kasvustossa havaittiin magnesiumin ja kaliumin puutosoireita. Oireet havainnoitiin ennen kasvustojen tuleentumista. Puutosoireiden määrittämisessä käytettiin asteikkoa 0-100, joka vastasi puutosoireen peittämisen alan prosenttiosuutta kokonaislehtialasta (Liite 2). Sekä magnesiumin että kaliumin puutosoireet olivat voimakkaampia vähämultaisella maalla kuin runsasmultaisella maalla. Kummallakin maalla magnesiumin puutosoireet olivat lievempiä suurimmalla kuonan käyttömäärällä (Kuva 12). Kaikki teräskuonan käyttömäärät vähensivät kaliumin puutosoireita (Kuva 13).



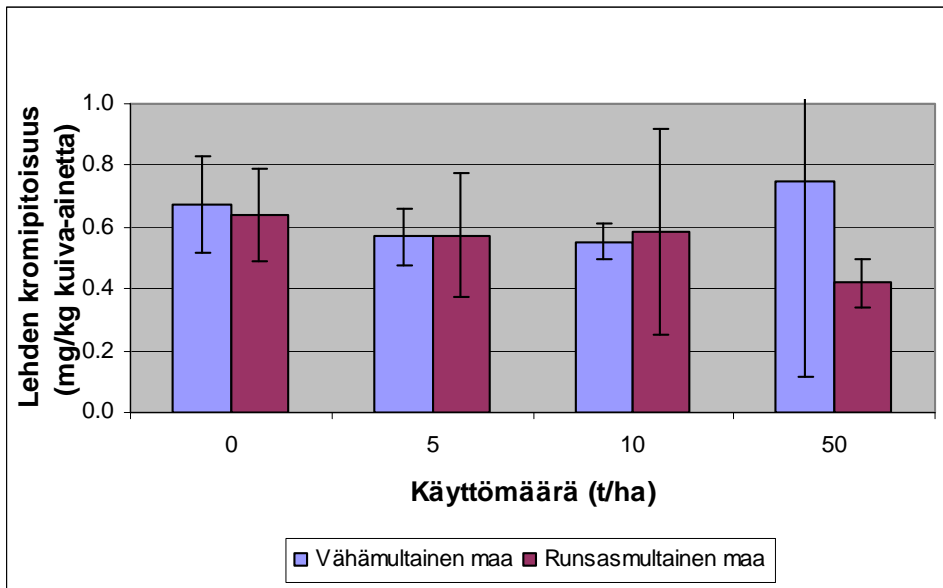
Kuva 12: Magnesiumin puutosoireet kasvustossa (% lehtialasta).



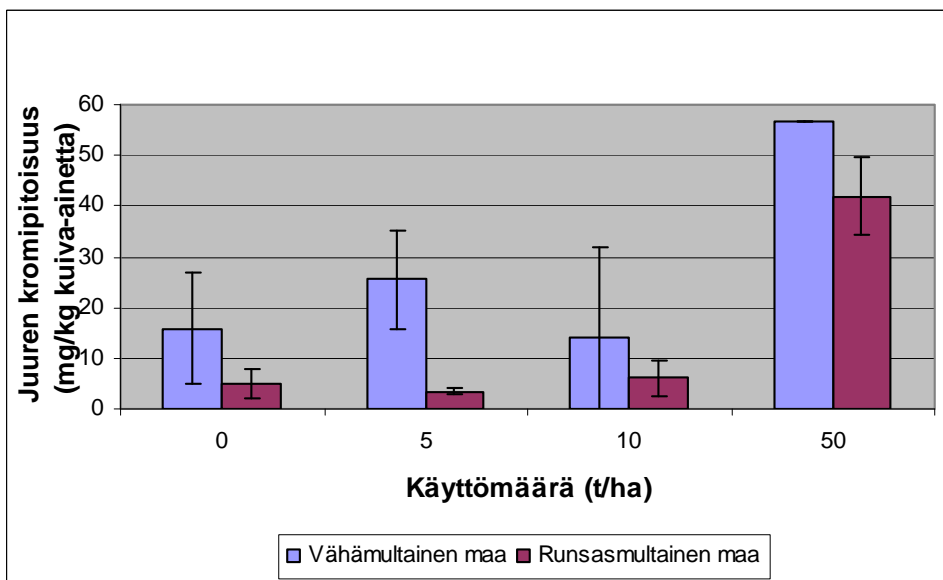
Kuva 13: Kaliumin puutosoireet kasvustossa (% lehtialasta).

3.2.1 Kromi (Cr)

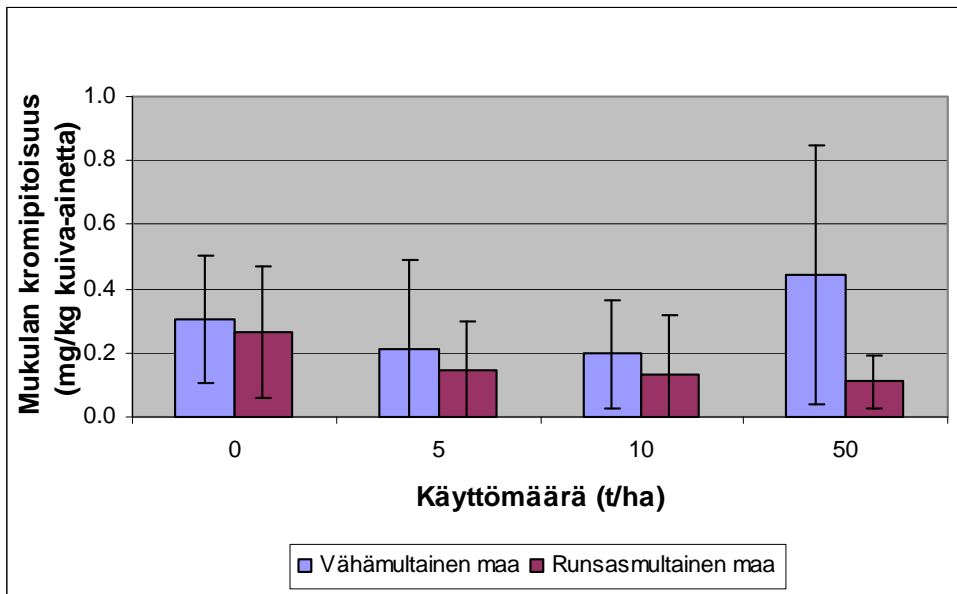
Kromipitoisuudet määritettiin perunan lehdistä, juurista ja kuorimattomista mukuloista. Perunan lehtien kromipitoisuus oli käsittelemättömällä maalla 0,65 mg/kg kuiva-ainetta (Kuva 14) ja mukuloiden 0,3 mg/kg kuiva-ainetta (Kuva 16). Juurien kromipitoisuudet olivat noin kymmenkertaisia verrattuna lehtien ja mukuloiden kromipitoisuuksiin ja korkeampia vähämultaisella kuin runsasmultaisella maalla (Kuva 15). Teräskuona ei lisännyt kromipitoisuutta lehdistä tai mukuloissa, sen sijaan ylisuuri (50 t/ha) kuonamäärä lisäsi juurien kromipitoisuutta. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että perunan ottama kromi ei juurikaan kulkeudu kasvissa juurista eteenpäin lehtiin ja mukuloihin.



Kuva 14: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset lehtien kromipitoisuuksiin.



Kuva 15: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset juurien kromipitoisuuksiin.



Kuva 16: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset mukuloiden kromipitoisuuksiin.

Taulukossa 3 on esitetty kromin tarve, keskimääräinen saanti ja haitalliseksi havaittu määrä. Haitalliseksi havaittu kromi(III):n määrä on 70 kg painavalle ihmiselle 105 mg/vrk. Jotta ihminen saisi tämän määrän kromia perunasta, täytyisi tämän tutkimuksen perusteella korkeimman kromimäärän sisältänyttä, kuorimatonta perunaa syödä yli 1000 kg vuorokaudessa. RAMAS-hankkeen yhteydessä pirkanmaalaisilla pelloilla viljellyn kuorimattoman perunan kromipitoisuudeksi on määritetty 0,04 - 0,15 mg/kg kuiva-ainetta (Mäkelä-Kurtto ym. 2006).

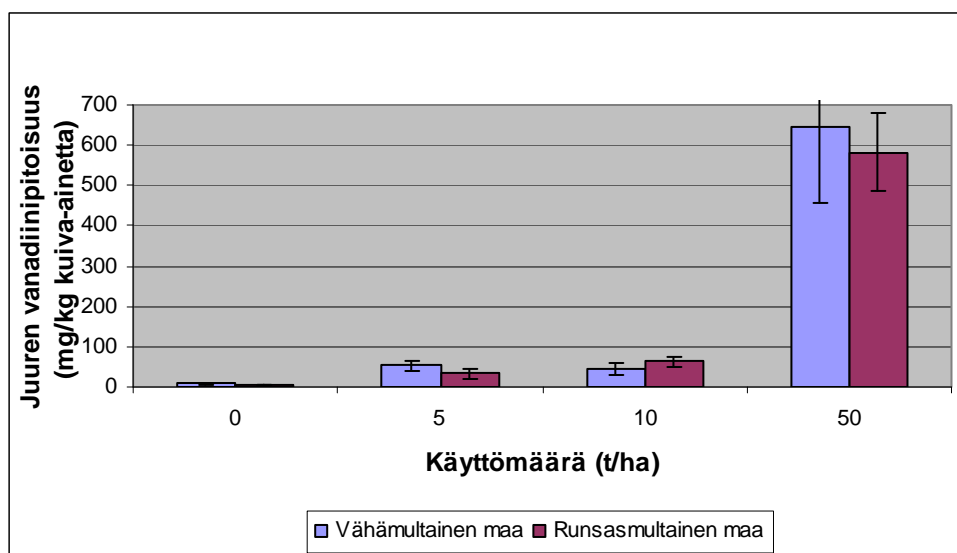
Taulukko 3. Kromin saanti, haitallinen pitoisuus ja pitoisuuksia perunassa.

	Pitoisuus	Lähde
Aikuisen saantitarve	20-45 µg/vrk	ATSDR 2008
Keskimääräinen saanti ruoasta ja vedestä	52-943 µg/vrk	ATSDR 2008
Haitallinen pitoisuus (matalan riskin raja, altistumisaika 15-364 vrk)	2,6-2,8 µg/painokg/vrk Cr(VI) 1,5 mg/painokg/vrk Cr(III)	ATSDR 2008
Perunassa aiemmin havaittu pitoisuus	0,021 mg/kg kuiva-ainetta	Kabata-Pendias & Pendias 2001
Perunassa aiemmin havaittu pitoisuus	0,04-0,15 mg/kg kuiva-ainetta	Mäkelä-Kurtto ym. 2006

3.2.2 Vanadiini (V)

Vanadiinipitoisuudet määritettiin perunan lehdistä, juurista ja kuorimattomista mukuloista. Lehdistä ja mukuloista tehdyistä analyyseistä kuonamäärien 5 ja 10 t/ha saaneiden sekä käsittelemättömien kasvien vanadiinipitoisuudet jäivät alle määrittämissä rajoissa (1 mg/kg kuiva-ainetta). Teräskuonien normaalit käyttömäärät eivät lisänneet lehtien tai mukuloiden vanadiinipitoisuutta. Suurimman käyttömäärän, 50 t/ha, saaneilla kasveilla lehtien vanadiinipitoisuus kohosi vähämultaisella maalla juuri ylitse määrittämissä rajoissa ollen 1 mg/kg kuiva-ainetta. Runsasmultaisella maalla vanadiinipitoisuus jäi alle määrittämissä rajoissa suurimmallakin kuonamäärällä. RAMAS -hankkeen tutkimuksissa pirkanmaalaisilla pelloilla viljeltyjen kuorimattomien perunoiden vanadiinipitoisuudeksi on saatu 0,07-0,13 mg/kg kuiva-ainetta (Mäkelä-Kurtto ym. 2006).

Perunan juurien vanadiinipitoisuus oli noin viisikymmenkertainen lehtien ja mukuloiden pitoisuuksiin verrattuna (Kuva 17). Vain teräskuonan ylisuuri (50 t/ha) käyttömäärä lisäsi juurien vanadiinipitoisuutta. Peruna näyttäisi ottavan maassa olevan vanadiinin tehokkaasti juuristoonsa, mutta kulkeutuminen muihin kasvinosiin on vähäistä.



Kuva 17: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset perunan juurten vanadiinipitoisuuksiin.

Taulukossa 4 on esitetty vanadiinin tarve, keskimääräinen saanti ja haitallinen pitoisuus. Haitalliseksi havaitun vanadiinin määrä 70 kg:n painoiselle ihmiselle on 0,7 mg/vrk. Jotta ihminen saisi tämän määrän vanadiinia, hänen täytyisi syödä tämän tutkimuksen mukaan korkeimman vanadiinipitoisuuden sisältäneitä perunoita kuorimattomana 1 kg. Tutkimuksen korkeimmat vanadiinipitoisuudet on saavutettu kymmenkertaisella kuonaylimäärällä, joten haitallisen vanadiinimäärän saaminen perunaa syömällä on epätodennäköistä.

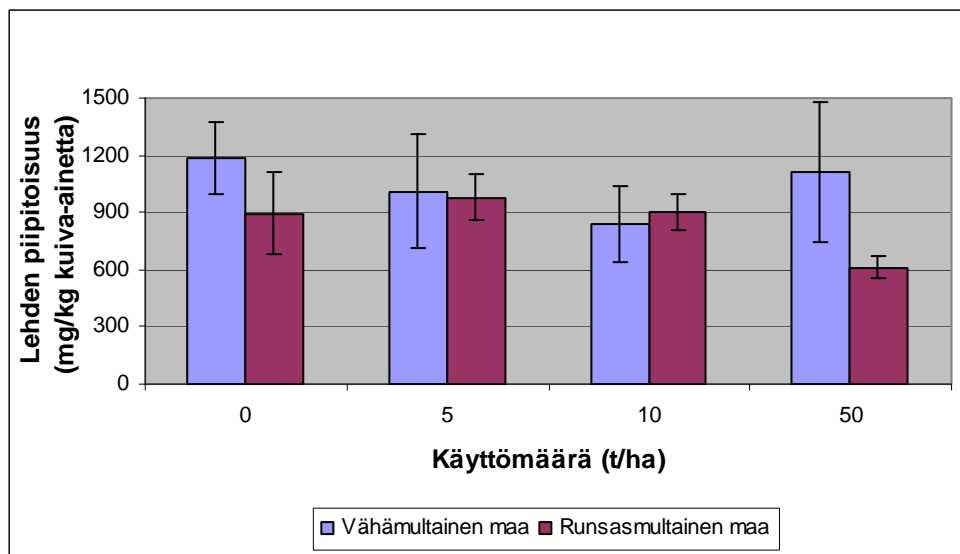
Taulukko 4. Vanadiinin saanti, haitallinen pitoisuus ja pitoisuuksia perunassa.

	Pitoisuus	Lähde
Aikuisen saantitarve	10 µg/vrk	Gustafsson & Jonhsson 2004
Keskimääräinen saanti ruoasta ja vedestä	0,01-0,02 mg/vrk 0,002 mg/vrk	ATSDR 2009
Haitallinen pitoisuus (matalan riskin raja, altistumisaika 15-364 vrk)	0,01 mg/painokg/vrk	ATSDR 2009
Perunassa aiemmin havaittu pitoisuus	6,4 µg/kg kuiva-ainetta	Kabata-Pendias & Pendias 2001
Perunassa aiemmin havaittu pitoisuus	0,07-0,13 mg/kg kuiva-ainetta	Mäkelä-Kurtto ym. 2006

3.2.3 Muut ravinteet

Piillä (Si) on havaittu olevan monille viljelykasveille hyödyllisiä vaikutuksia. Ohralla pii vähensi sienitauteja (Rex 2000). Perunalla lehtien piipitoisuus nousi kuivuusstressiolosuhteissa, kun piitä oli maassa saatavilla (Crusciol ym. 2009). Lisäksi pii vähensi varsien lakoutumista ja lisäsi mukulasadon määrää (Crusciol ym. 2009).

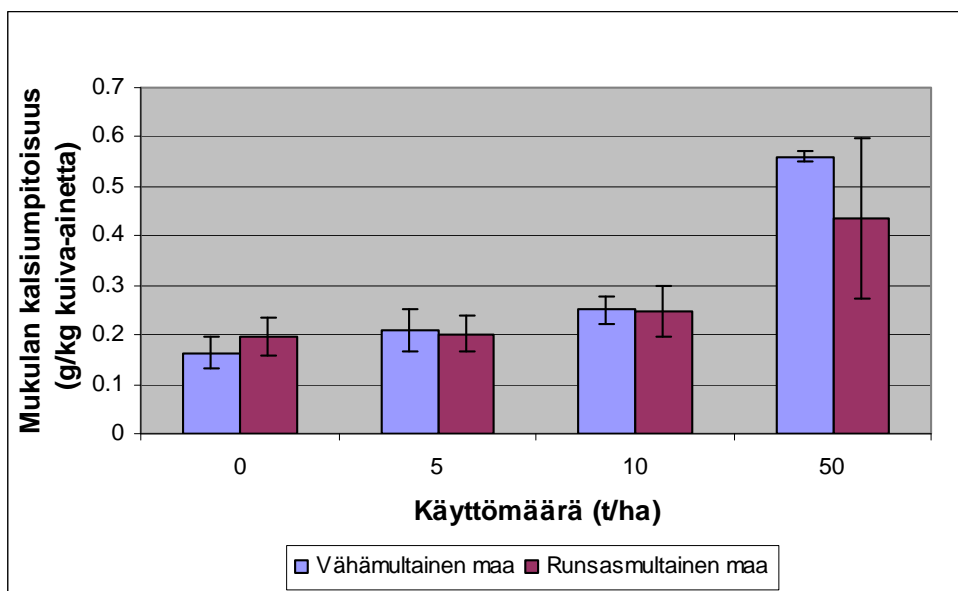
Tässä tutkimuksessa perunan lehdistä määritettiin piipitoisuudet. Kuonalisäykset eivät millään käyttömäärällä merkittävästi nostaneet lehtien piipitoisuuksia, 50 t/ha käyttömäärällä runsasmultaisella maalla lehtien piipitoisuus laski muihin käyttömääriin verrattuna (Kuva 18).



Kuva 18: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset perunan lehtien piipitoisuuksiin.

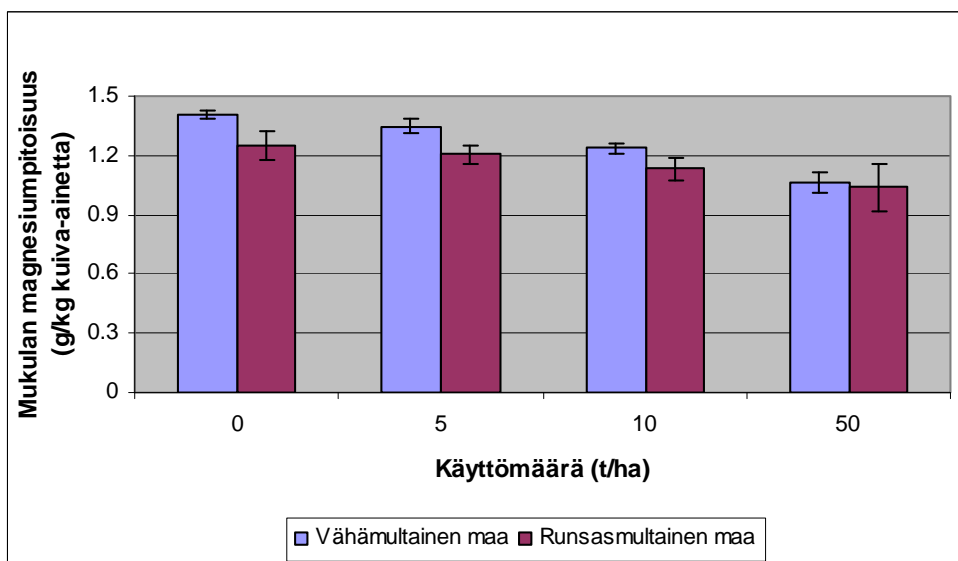
Vai ylisuuri (50 t/ha) kuonan käyttömäärä lisäsi mukulan kalsiumpitoisuutta (Kuva 19). Mukuloiden kalsiumpitoisuudet olivat vähämultaisella maalla 0,2-0,6 g/kg kuiva-ainetta ja runsasmultaisella maalla 0,2-0,4 g/kg kuiva-ainetta. Tämän tutkimuksen mukuloiden kalsiumpitoisuudet vastasivat aiemmissä tutkimuksissa havaittuja mukuloiden kalsiumpitoisuuksia (0,1-0,4 g/kg kuiva-ainetta) (Vorne 2001; Aro ym. 2005).

Mukuloiden kalsiumpitoisuudet eivät nousseet normaalia korkeammiksi, vaikka maan kalsiumpitoisuudet olivat suurimmilla käyttömäärillä maan normaalipitoisuuksia korkeampia. Tämä voi johtua korkeista vanadiinipitoisuuksista maassa, sillä vanadiinin tiedetään estävän kalsiumin sitoutumista kasveihin (Mroueh ym. 2006).



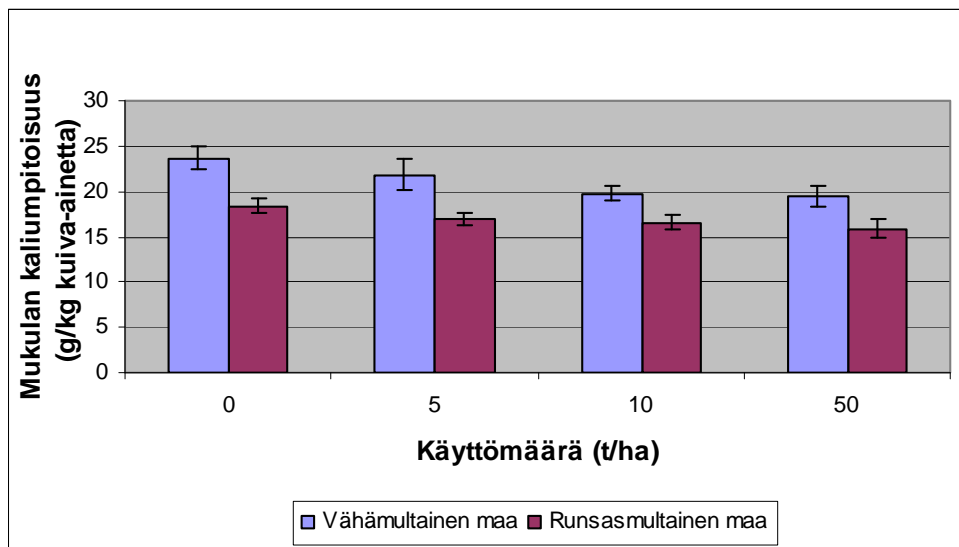
Kuva 19: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset mukuloiden kalsiumpitoisuuksiin.

Vähämultaisella maalla mukulan magnesiumipitoisuudet olivat 1,1-1,4 g/kg kuiva-ainetta ja runsasmultaisella maalla 1,0-1,3 g/kg kuiva-ainetta (Kuva 20). Ylisuuri kuonan käyttömäärä lisäsi mukuloiden magnesiumipitoisuutta. Tässä tutkimuksessa havaitut mukuloiden magnesiumipitoisuudet vastasivat aiemmissä tutkimuksissa esiin tulleita pitoisuuksia (1,1-1,5 g/kg kuiva-ainetta) (Vorne 2001; Aro ym. 2005). Kuonan ylisuurella käyttömäärällä (50 t/ha) perunan magnesiumin ottoon saattoivat vaikuttaa korkeat maan vanadiini- ja kalsiumpitoisuudet.



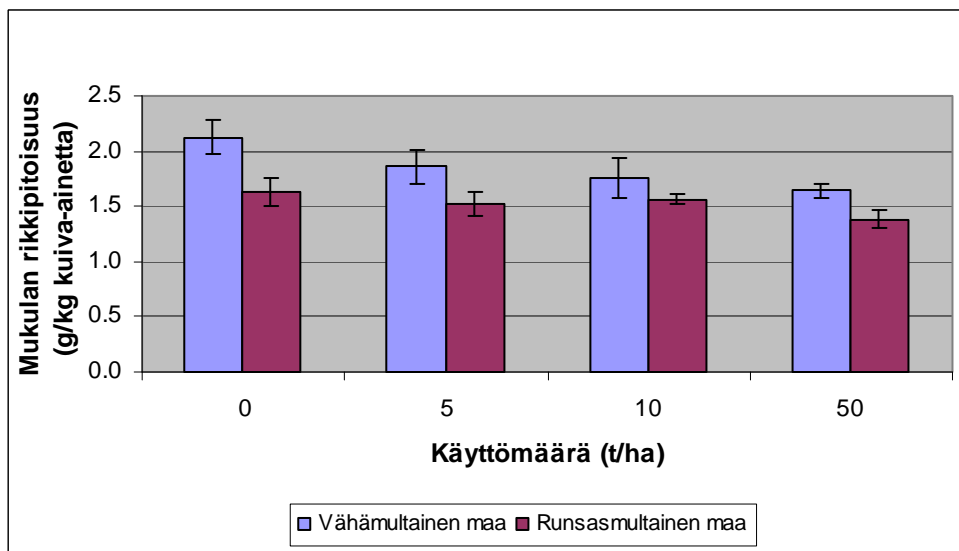
Kuva 20: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset mukuloiden magnesiumipitoisuuksiin.

Mukuloiden kaliumpitoisuudet olivat vähämultaisella maalla runsasmultaista maata korkeammalla tasolla (Kuva 21). Kaliumpitoisuudet vaihtelivat vähämultaisella maalla välillä 20-24 g/kg kuiva-ainetta. Runsasmultaisella maalla pitoisuudet vaihtelivat välillä 16-18 g/kg kuiva-ainetta. Mukuloiden kaliumpitoisuudet olivat aiemmissa tutkimuksissa havaittujen kaliumpitoisuuksien tasolla (17-28 g/kg kuiva-ainetta) (Vorne 2001; Aro ym. 2005; Sipilä & Virtanen 2009).



Kuva 21: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset mukuloiden kaliumpitoisuuksiin.

Mukuloiden rikkipitoisuudet olivat vähämultaisella maalla 1,6-2,1 g/kg kuiva-ainetta ja runsasmultaisella maalla 1,4-1,6 g/kg kuiva-ainetta (Kuva 22). Nämä pitoisuudet ovat samaa tasoa kuin aiemmissa MTT Ruukin kenttäkokeissa havaitut pitoisuudet (Hiltunen ym. 2007a) (1,5-1,6 g/kg kuiva-ainetta). Vain ylisuuri teräskuonan käyttömäärä vaikutti mukuloiden rikkipitoisuuteen.



Kuva 22: Teräskuonan eri käyttömäärien vaikutukset mukuloiden rikkipitoisuuksiin.

Maanäytteistä analysoitiin lisäksi muita alkuaineita (antimoni, arseeni, barium, kadmium, koboltti, kupari, lyijy, molybdeeni, nikkeli, sinkki). Niiden pitoisuudet jäivät joko alle määrittärajojen tai teräskuonan käyttö ei vaikuttanut niiden pitoisuuksiin merkittävästi.

4 Yhteenveto

Teräskuonan normaalit käyttömäärät (5 ja 10 t/ha) eivät lisänneet maan kromi- tai vanadiinipitoisuuksia tilastollisesti merkitsevästi. Normaaliin käyttömäärään verrattuna tätä tutkimusta varten käytetty kymmenkertainen teräskuonan määrä (50 t/ha) lisäsi kummankin tutkimuksessa käytetyn maan sekä kromi- että vanadiinipitoisuutta. Vähämultaisen maan pitoisuudet nousivat runsasmultaista maata vähemmän. Ihmiselle ja ympäristölle haitallisen kuudenarvoisen kromin pitoisuus maassa oli alle määritysrajan kaikilla teräskuonan käyttömäärillä.

Teräskuonan normaalit käyttömäärät eivät nostaneet perunan mukuloiden tai lehtien kromi- ja vanadiinipitoisuuksia. Perunan juurien kromi- ja vanadiinipitoisuudet olivat huomattavasti lehtien ja mukuloiden pitoisuuksia korkeampia. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että kromi ja vanadiini kertyvät perunan juuriin, mutta kulkeutuvat perunan muihin osiin vain vähäisissä määrin.

Teräskuonan lisäys nosti maan pH:ta, johtolukua ja Ca-Mg-suhdetta. Vähämultaisella maalla kyseiset arvot nousivat runsasmultaista maata enemmän johtuen runsasmultaisen maan suuremmasta humuspitoisuudesta ja paremmasta puskurointikyvyvystä. Kasvuston kehitys oli runsasmultaisella maalla vähämultaista maata tasaisempaa. Kummallakin maalla ylisuuri (50 t/ha) kuonan käyttömäärä hidasti jonkin verran kasvuston kehitystä.

Teräskuonan käyttö ei vaikuttanut perunan lehtien piipitoisuuksiin. Näissä astiakokeissa havaitut perunan mukuloiden ravinnepitoisuudet (Ca, Mg, K, S) vastasivat keskimääräisiä aiemmissä kokeissa havaittuja mukuloiden ravinnepitoisuuksia.

5 Kirjallisuus

Agricultural Research Centre. 1986. Methods of soil and plant analysis. Jokioinen 1986. ISBN 951-729-285-6. 45 s.

Aro, S., Veteläinen, M., Forsman, K., Hiltunen, L.E, Degefu, Y., Järvelä, M-L., Jauhiainen, L., Rönty, S., Palohuhta, J-P., Ilola, P., Virtanen, E., Kortesoja, M., Härmä, M., Sipilä, A. 2006. Tuloksia siemenperunakokeista 2003-2006. MTT:n selvityksiä 133: 60 s.

ATSDR 2008. Toxicological Profile for Chromium. Viitattu 25.3.2010. Saatavissa:<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.html>

ATSDR 2009. Toxicological Profile of Vanadium. Viitattu 25.3.2010. Saatavissa: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.html>

Crusciol CAC, Pulz AL, Lemos LB, Soratto RP, Lima GPP. 2009. Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. Crop Science 49: 949-954.

DEFRA 2002. Soil Guideline Values for Chromium Contamination. Department for Environment, Food and Rural Affairs, The Environment Agency, 15 s.

Hack H., Gall H., Klemke Th., Klose R., Meier U., Strauss R. & Witzemberger A. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel. Deut. Pflanzenschultzd. 45 (1): 11-19.

Hakkola H. 1984. Kuonakalkituskokeiden tuloksia 1978-83. MTTK- Maataloudentutkimuskeskus, Tiedote 10/84. 42 s.

Hakkola H. 1993. Perunan kalkitus. Koetoiminta ja käytäntö 30.11. 1993. s. 33

Heikkinen P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Tutkimusraportti 150. Geologian tutkimuskeskus. 74 s.

Hiltunen L., Forsman K., Virtanen E., Sipilä A., Kallio R. ja Peltoniemi R. 2007a. Terästeollisuuden kuonat perunan viljelyssä. MTT: n selvityksiä 148. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 33 s.

Hiltunen L., Virtanen E., Forsman K., Kallio R. ja Peltoniemi R. 2007b. Kuonat perunanviljelyssä. Tuottava peruna 1: 19-20.

Kabata-Pendias A. & Pendias H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition. CRC Press LCC. 413 s.

Mroueh U-M, Wahlström M, Laine-Ylijoki J ja Mäkelä E. 2006. Tausta-aineistoa ”Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa” valmistelua varten. Raportti nro. PRO3/P3013/05. VTT Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 19 s.

Mäkelä-Kurtto R., Eurola M., Justen A., Backman B., Luoma S., Karttunen V. ja Ruskeeniemi T. 2006. Arsenic and other elements in agro-ecosystems in Finland and particularly in the Pirkanmaa region. MTT Agrifood Research Finland, Geological Survey of Finland. 109 s.

Rex M. 2000. Blastfurnace and Steel Slags as Liming Materials for Sustainable Agricultural Production. Proceedings of the 2nd European Slag Conference, 9.-11. October Düsseldorf. EUROSLAG Publication No.1. s.137-149.

Sipilä, A., Virtanen, E. 2009. Siemenperunan kaliumlannoitus. Teoksessa: P. Issakainen ja K. Pakarinen (Toim.) Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2008. Maaninka: MTT. p. 77-80.

Suomen Ympäristöpalvelu Oy. 2010. Ympäristötutkimuksen analyysivalikoima. Viitattu: 19.8.2010.
Saatavissa: <http://www.suomenymparistopalvelu.fi/ymparisto.php?page=ymp-analyysi>

Valtioneuvosto 2007. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. 1.3.2007.

Vorne V. 2001. Kirjallisuus selvitys perunan laadusta. Elintarvikeviraston julkaisuja 9/2001: 74 s.

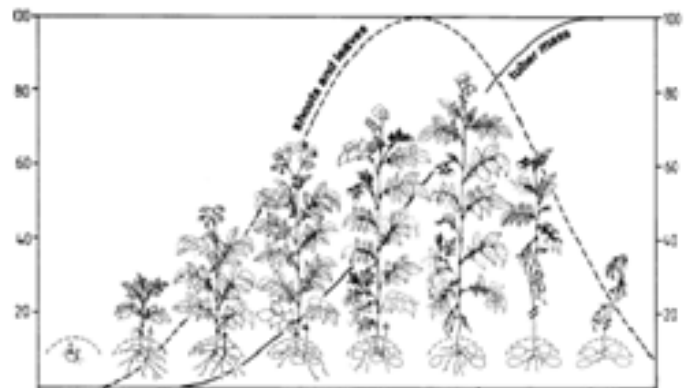
6 Liitteet

Liite 1.

Kehitysstadiit

Mukaillen Hack ym. 1993

- 0 Itäminen
- 10 Taimettuminen
- 20 Lehtien ja varsien kehitys
- 30 Varsien pituuskasvu
- 40 Kasvuston umpeutuminen
- 50 Kukkanuppujen muodostuminen
- 60 Kukinta
- 70 Marjojen muodostuminen
- 80 Kasvuston tuleentuminen
- 90 Mukuloiden tuleentumisaste nostossa



Liite 2.

Puutosoireet:

0	ei puutosoireita
1	1-2:ssa lehdessä oireita
5	muutamissa lehdissä oireita
10	useissa lehdissä oireita
25	lähes jokaisessa lehdessä oireita, yleisväri vihreä
50	kaikissa lehdissä oireita, kasvusto kirjava
75	kaikissa lehdissä oireita, yleisväri ruskea
100	kasvusto ruskea



Liite 3. Maan alkuainepitoisuus.

	Alkuainepitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)											
	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Astiakoe 1:												
Vähämultainen maa												
Käsitlemätön	<3	16,11	<0,3	1,1	11,25 b	4,89 b	<1	2,91	4,37	<4	16,11 b	15,93
Teräskuona 5 t/ha	<3	17,38	<0,3	1,2	15,06 b	5,18 ab	<1	2,74	4,30	<4	41,16 b	17,30
Teräskuona 10 t/ha	<3	17,02	<0,3	0,9	22,38 b	5,40 ab	<1	2,62	4,49	<4	103,54 b	16,03
Teräskuona 50 t/ha	<3	18,63	<0,3	0,8	53,21 a	5,68 a	<1	2,61	4,43	<4	329,91 a	16,11
Astiakoe 2:												
Runsasmultainen maa												
Käsitlemätön	<3	26,54 b	<0,3	1,50	11,29 b	5,35 b	<1	4,11	3,37 b	<4	18,71 b	11,04
Teräskuona 5 t/ha	<3	28,67ab	<0,3	1,60	22,74 b	6,35 ab	<1	4,07	3,52 ab	<4	94,71 b	11,65
Teräskuona 10 t/ha	<3	26,72 b	<0,3	1,47	27,79 b	5,98 ab	<1	3,97	3,83 ab	<4	145,00 b	11,43
Teräskuona 50 t/ha	<3	32,17 a	<0,3	1,34	84,45 a	6,99 a	<1	3,75	4,08 a	<4	560,04 a	11,15

Analysit: Suomen Ympäristöpalvelu Oy.

Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

Liite 4. Maan ravinnepitoisuus.

	Johtoluku	pH	Ravinnepitoisuus (mg/l)									Ca/Mg-luku
			Ca	K	Mg	P	Cu	Mn	Zn	Na	S	
Astiakoe 1:												
Vähämultainen maa												
Käsitlemätön	3,6 b	5,4 d	400 d	83,2 b	66,8 b	21,1 c	5,3	49,8 a	4,2	89,8	125,3	6,1 d
Teräskuona 5 t/ha	4,3 ab	6,7 c	1205 c	83,1 b	55,6 b	28,1 c	5,0	17,3 b	3,0	105,5	114,3	21,6 c
Teräskuona 10 t/ha	5,3 a	7,4 b	2108 b	94,7 b	55,8 b	40,7 b	5,7	18,3 b	3,4	110,5	130,0	38,0 b
Teräskuona 50 t/ha	4,7ab	8,6 a	8193 a	142,4 a	91,4 a	82,7 a	6,1	61,5 a	4,4	86,0	150,0	89,6 a
Astiakoe 2:												
Runsasmultainen maa												
Käsitlemätön	3,3 b	5,5 d	993 c	47,5 ab	190,0 a	6,7 c	4,4	16,5 b	2,5	99,0 a	103,5	5,2 d
Teräskuona 5 t/ha	3,3 b	6,2 c	1755 bc	44,7 b	175,0 b	7,4 c	4,4	14,5 b	2,0	101,0 a	90,0	10,1 c
Teräskuona 10 t/ha	4,8 ab	6,6 b	2783 b	59,3 a	182,5 ab	10,9 b	4,7	19,3 b	1,9	115,0 a	140,3	15,4 b
Teräskuona 50 t/ha	6,8 a	7,9 a	8820 a	72,7 a	192,5 a	28,7 a	4,8	52,0 a	2,7	75,3 b	147,5	45,8 a

Analyysit: Suomen Ympäristöpalvelu Oy.

Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

Liite 5. Kasvien alkuainepitoisuudet.

	Alkuainepitoisuus mg/kg kuiva-ainetta						
	Cr			V			Si
	Lehdet	Juuret	Mukulat	Lehdet	Juuret	Mukulat	Lehdet
Astiakoe 1:							
Vähämultainen maa							
Käsitlemätön	0,67	15,88 b	0,31	<1	7,90 b	<1	1182
Teräskuona 5 t/ha	0,57	25,48 b	0,21	<1	52,45 b	<1	1008
Teräskuona 10 t/ha	0,55	13,97 b	0,20	<1	45,10 b	<1	840
Teräskuona 50 t/ha	0,75	56,58 a	0,45	1,00	646,67 a	2,77	1113
Astiakoe 2:							
Runsasmultainen maa							
Käsitlemätön	0,64	4,99 b	0,26	<1	4,14 b	<1	895 a
Teräskuona 5 t/ha	0,57	3,48 b	0,14	<1	32,72 b	<1	980 a
Teräskuona 10 t/ha	0,59	6,06 b	0,13	<1	64,10 b	<1	903 a
Teräskuona 50 t/ha	0,42	41,91 a	0,11	<1	582,46 a	1	610 b

Analyysit: Suomen Ympäristöpalvelu Oy.

Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

Liite 6. Mukuloiden ravinnepitoisuudet.

	Ravinnepitoisuus g/kg kuiva-ainetta				
	ka (%)	Ca	K	Mg	S
Astiakoe 1:					
Vähämultainen maa					
Käsitlemätön	20,2 b	0,2 c	23,7 a	1,4 a	2,1 a
Teräskuona 5 t/ha	22,3 ab	0,2 bc	21,8 ab	1,3 ab	1,9 ab
Teräskuona 10 t/ha	23,4 a	0,3 b	19,8 b	1,2 bc	1,8 b
Teräskuona 50 t/ha	21,7 ab	0,6 a	19,5 b	1,1 c	1,6 b
Astiakoe 2:					
Runsasmultainen maa					
Käsitlemätön	23,1	0,2 b	18,4 a	1,3 a	1,6 a
Teräskuona 5 t/ha	24,7	0,2 b	16,9 ab	1,2 a	1,5 ab
Teräskuona 10 t/ha	24,0	0,2 ab	16,6 b	1,1 ab	1,6 ab
Teräskuona 50 t/ha	24,9	0,4 a	15,9 b	1,0 b	1,4 b

Analyytit: Suomen Ympäristöpalvelu Oy.

Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

Liite 7. Kasvustohavainnot.

	Taimettumis- aika (vrk)	Kehitysasteet (mukaellen Hack ym. 1993)														Kasvuston korkeus (cm)	Puutosoireet (% lehtialasta)		
		4.3	11.3	19.3	25.3	2.4	9.4	17.4	22.4	1.5	7.5	14.5	22.5	1.6	11.6		16.6	Mg	K
Astiakoe 1:																			
Runsasmultainen maa																			
Käsitlemätön	21 b	35 a	37 a	38 a	41 a	43 a	43 a	53	72 a	83 a	86 a	86 a	87 a	88 a	88 a	-	44,3	16,3 a	65,0 a
Teräskuona 5 t/ha	21 b	35 a	38 a	39 a	44 a	48 a	48 a	46	49 ab	73 ab	83 a	83 ab	85 a	86 a	88 a	-	48,5	26,3 a	26,3 b
Teräskuona 10 t/ha	21 b	34 a	37 a	44 a	47 a	48 a	48 a	49	48 ab	48 bc	73 a	73 ab	82 a	84 a	88 a	-	56,1	16,3 a	11,3 c
Teräskuona 50 t/ha	64 a	9 b	9 b	10 b	11 b	20 b	22 b	36	38 b	44 c	50 b	59 b	65 b	78 b	83 b	-	53,9	0,5 b	2,3 c
Astiakoe 2:																			
Vähämultainen maa																			
Käsitlemätön	19 b	-	-	-	34 a	38 ab	42	46	49	49	49	49	74	83	-	85	57,6	2,8 a	9,8 a
Teräskuona 5 t/ha	20 ab	-	-	-	33 a	38 ab	42	47	51	52	52	52	81	83	-	86	54,1	1,8 ab	3,4 bc
Teräskuona 10 t/ha	19 b	-	-	-	34 a	38 a	43	46	50	50	50	50	81	84	-	85	64,1	1,5 b	2,3 c
Teräskuona 50 t/ha	21 a	-	-	-	28 b	35 b	40	45	49	49	49	49	49	80	-	85	61,8	0,0 c	5,0 b

Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI 13

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. (03) 4188 2327, sähköposti julkaisut@mtt.fi

