

RASKMETALLISALDUS KÖÖGIVILJADES SÕLTUVALT LUBIVÄETISE LIIGIST

M. Järvan

SUMMARY: *Content of heavy metals in vegetables depending on different lime fertilizers. The association: lime fertilizer – soil (growth medium) – plant – yield was investigated for content of heavy metals. The effect of liming fertilizers produced in Estonia (oil-shale ash, limestone meal, dolomite meal and mixtures of limestone meal and dolomite meal with different Ca:Mg ratio) was monitored. The experiments were carried out with vegetables both in greenhouse and open ground conditions.*

The greenhouse vegetables (lettuce, cucumber, tomato, sweet pepper) were cultivated on the peat growth medium neutralized with different lime fertilizers. The application rate of lime fertilizer was 8 Kg per 1 m³ of peat. The content of heavy metals in open ground vegetables (carrot, red beet, cabbage) was investigated in field trials carried out on acid soils of South Estonia (pH_{KCl} 4.17). The rate of liming fertilizer was 5 T of CaCO₃ per hectare.

The content of heavy metals (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr) in oil-shale ash was higher than in limestone and dolomite meals. The content of heavy metals in plants cultivated on peat growth medium in general didn't correlate with content of heavy metals in liming fertilizers used for neutralization of peat. The content of heavy metals in lettuce depended on acidity of growth medium. There was more Cd, Zn and less Cr in lettuce grown on medium neutralized with dolomite meal (pH_{KCl} 5.6) than on media neutralized with other lime fertilizers (pH_{KCl} 5.9–6.5). In lettuce the content of heavy metals was 2 to 4 times higher than in fruits of tomato, cucumber and sweet pepper grown in the same conditions.

The concentration of Cd, Zn of tomato and cucumber plants was higher in older leaves than in younger ones. The content of heavy metals in dry matter of tomato and cucumber fruits was several times lower than in leaves and didn't depend on content of heavy metals in lime fertilizer used for neutralization of peat and pH of the growth medium.

The vegetables (carrot, red beet, cabbage) grown on very acid soils contained usually more heavy metals (Pb, Cd, Zn, Ni) than vegetables grown on soils fertilized with lime fertilizers (5 T of CaCO₃ per hectare). Mixture of limestone and dolomite meals (1:1) yielded mostly in lower heavy metal content in plants than oil-shale ash. Carrot and cabbage accumulated 1.6–2.0 times more Cd and 1.5–2.5 times more Zn than cabbage.

Happeliste muldade lupjamiseks vajatakse Eestis igal aastal suurtes kogustes lubiväetisi. Märkimisväärse koguses tarvitab neid ka katmikaiandus, sest kasvuhoonekultuure kasvatakse peamiselt happelisest rabaturbast valmistatud substraatidel.

Eestis on aastakümneid kasutatud lubiväetisena põhiliselt tolmpõlevkivituhka. Põlevkivituhi sisaldab aga nimetamisväärse koguses raskmetalle ning kuna teda viiakse mulda või segatakse turvassubstraadisse märksa suuremates kogustes kui näiteks mineraalväetisi, siis suureneb mulla või substraadi raskmetallisaldus. H. Kärblane ja L. Kevvai (1995) märgivad, et tolmpõlevkivituha väga suurtes kogustes kasutamisel võib muld mõne raskmetalliga saastuda, sest mitmeid raskmetalle (Pb, Cd, Hg, Zn, Cu ja Mo) sisaldub põlevkivituhas enam kui mullas. Varasematel aastatel, kui Eestis kasutati rohkesti lubiväetisi, sattus kõige enam Pb mulda just lubiväetistega (Kärblane, Kevvai, 1995).

Lubiväetisena kasutatud põlevkivituhi mõjutab taimede raskmetallisaldust kahesuunaliselt. Ühelt poolt rikastub muld lupjamisel õige vähe raskmetallidega. Teiselt poolt aga neutraliseerib põlevkivituhi mulla happelist reaktsiooni ning seetõttu vähendab raskmetallide (välja arvatud Mo ja Cr) omastatavust taimede poolt. Kokkuvõttena alandab happelise mulla põlevkivituha lupjamine Pb- ja Cd-sisaldust taimedes (Kärblane, 1996).

Käesoleva uurimuse raames tehtud analüüsid ja arvutused näitasid, et tolmpõlevkivituha (norm 5 t/ha CaCO₃) sattus raskmetalle mulda järgmistes kogustes (g/ha): Pb 152...200, Cd 2,2...2,4, Zn 44...48, Ni 61...63, Cr 122...134. Turvassubstraadi neutraliseerimisel põlev-

kivituhaga (norm 8 kg/m³) viidi substraadisse Pb 200...262, Cd 2,9...3,2, Zn 58...62, Ni 80...83 ja Cr 160...175 mg ühe kuupmeetri substraadi kohta. On avaldatud arvamust, et mulda viidud raskmetallid võivad taimekasvatussaaduste kaudu sattuda inimorganismi. Seda väidet kindlalt kummutavaid uurimusi paraku ei ole teada.

Käesoleva uurimuse eesmärgiks oli selgitada raskmetallisisaldust süsteemis lubiväetis – muld (substraat) – taim – saak. Uurimisobjektiks olid Eesti kohalikud lubiväetised: tolm-põlevkivituhk, lubjakivijahu, dolomiidijahu ning lubjakivi- ja dolomiidijahu erineva Ca:Mg vahekorraga segud. Katsekultuurideks olid kasvuhoone- ja avamaaköögiviljad. See töö on üks osa aastail 1995...1997 Eesti Teadusfondi toetusel tehtud grandiprojektist nr. 1499 “Kesk-konnaohutute dolomiitjate karbonaatkivimite kasutamine aianduses”.

Raskmetall – kas toksiline element või vajalik mikroelement?

Terminiga *raskmetall* kaasneb tavaliselt ettekujutus kui millestki elusorganismidele toksilisest. Bioloogilisel klassifitseerimisel loetakse raskmetallideks kõik metallid aatommassiga üle 40 (Aleksejev, 1987). Raskmetallide gruppi kuuluvad paljud sellised elemendid (Cu, Zn, Mo, Co, Mn, Fe jt.), mille positiivne bioloogiline toime on juba ammu tõestatud. Neid tavatsetakse nimetada mikroelementideks. Seega kehtivad mõisted *raskmetall* ja *mikroelement* ühtede ja samade elementide kohta. Terminit *raskmetall* tuleks kasutada siis, kui kõne all on keemilised elemendid (aatommassiga >40) elusorganismidele ohtlikes kontsentratsioonides, ning terminit *mikroelement* neil juhtudel, kui samad elemendid mullas, taimedes, loom- ja inimorganismides on kahjututes kontsentratsioonides või kui neid väikestes kogustes kasutatakse väetisena ja mineraalse söödalisisandina taimede ning loomade kasvu- ja arengutingimuste parandamiseks (Aleksejev, 1987).

Tingimusteta toksilisteks raskmetallideks loetakse Cd, Pb ja Hg (Aleksejev, 1987; Jerjomina, Butovski, 1997). Paljud teised raskmetallid on taimedele, loomadele ja inimesele eluliselt vajalikud. Järgnevalt tutvustatakse teadlaste kaasaegseid seisukohti nende raskmetallide (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr) füsioloogilise rolli kohta, mille sisaldust käesoleva uurimistöö objektides määrati.

Plii (Pb) ei oma seni teadaolevail andmeil elusorganismidele mingit füsioloogilist tähtsust. Ta kuulub nende elementide hulka, mille suuremas kontsentratsioonis esinemist taimsetes ja loomsetes toiduainetes loetakse negatiivseks (Baumeister, Ernst, 1978; Van Campen, 1991). Inimesele on Pb väga toksiline, ta kumuleerub organismis ning võib põhjustada kliinilisi mürgistusi. Pb on oluline keskkonna saastaja. Taimekasvatuse jaoks tähtsust omav Pb-reostus tuleb põhiliselt atmosfääri kaudu (liiklusmagistraalid, tööstus). On tõestatud, et Pb-reostus põhjustab loomadel agressiivset käitumist. Arvatakse, et suurte tööstuslinnade kuritegevuse üheks põhjuseks on ka Pb-reostus (Mengel, Kirkby, 1987).

Kaadmium (Cd). Teadlased (Elinder, Järup, 1996; Oskarsson jt., 1996) on kindlaks teinud, et köögiviljadest, kartulist ja teraviljatoodetest saab inimene umbes 75% toiduga omastatavast kaadmiumist. Organismi sattunud Cd kumuleerub ja võib põhjustada mitmesuguseid haigusi, näiteks neerude kahjustusi, luude hõrenemist, kopsuvähki ning südame-veresoonkonna haigusi (Mengel, Kirkby, 1987; Elinder, Järup, 1996; Oskarsson jt., 1996). Cd on keemiliselt väga sarnane Zn-ga, ta võib füsioloogilistes protsessides käituda niisamuti kui Zn ning üle võtta Zn kui vajaliku elemendi funktsioone. Kuid erinevalt Zn-st on Cd taimedele ja teistele elusorganismidele toksiline. Cd kohalolek pidurdab ensüümide aktiivsust, tema liig võib häirida Fe metabolismi ning põhjustada kloroosi (Mengel, Kirkby, 1987). Cd omastamist takistavad eriti Ca ja Zn (Aleksejev, 1987; Mengel, Kirkby, 1987).

Tsink (Zn) on taimedes paljude ensüümide koostises või aktiveerib nende tegevust, ta osaleb valkude ja süsivesikute sünteesi protsessides. Hiljuti tõestati, et Zn-l on võtmeroll ka geeniregulatsioonis (Römheld, Marschner, 1991; Marschner, 1997). Inimorganismis on Zn-l palju funktsioone, ta on vajalik toitumisel ja tervise säilitamisel. Kuigi loomsetest toiduainetest pärinevat Zn omastab organism paremini kui taimsetest saadustest, tulevad Zn-allikana arvesse ka mitmed liblikõielised (hernes, lääts jt.). Märkimist väärib seegi, et erinevalt mõnest teisest mikroelemendist (Fe, Mn, Cr) saab Zn-sisaldust taimsetes toiduainetes suurendada Zn-väetiste kasutamisega (Van Campen, 1991).

Nikkel (Ni). Veel suhteliselt hiljuti oli Ni puhul peamine tähelepanu taimekasvatuses keskendunud tema toksilisele toimele. Kuid kaasaegsed uurimused on tõestanud Ni vajalikkust nii taimedele kui loomadele (Asher, 1991; Van Campen, 1991; Marschner, 1997). Ni on vajalik paljude bakterite elutegevuseks, ta on stimuleerinud seemnete idanemist. On selgunud,

et ilma adekvaatse Ni varustatuseta ei saa taimed oma elutsükli läbida. Seepärast loetakse Ni praegu mikrotoitainete hulka kuuluvaks (Marschner, 1997). Märgitakse (Martens, Westermann, 1991), et Ni on efektiivselt mõjutanud mõne taimeliigi (liblikõielised, kaer) kasvu.

Kroom (Cr). Huvi Cr füsioloogilise rolli vastu on tõusnud sellest ajast, kui sai selgeks, et imetajate puhul osaleb ta glükoosi metabolismis (Mengel, Kirkby, 1987; Van Campen, 1991). Tema vajalikkust taimedele ei ole seni veel suudetud tõestada. Cr-sisaldus taimedes on üldiselt madal, lehtkõõgiviljades siiski mõõdukas. Taimedes sisalduvat Cr peetakse väheomastatavaks (Van Campen, 1991).

Kõõgiviljade raskmetallisaldust mõjutavad tegurid.

Happesuse neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetises ja substraadis olevate raskmetallide üldsisaldus üldjuhul ei peegeldu taimede raskmetallisalduses. Nende sisaldus taimedes sõltub mitmesugustest teguritest.

Norra Põllumajandusülikooli uurimused on näidanud, et Cd-sisaldus kultuurtaimedes, sh. kõõgiviljades sõltus ekstraheeruva Cd sisaldusest mullas, samuti Ca-, Mg- ja Mn-sisaldusest, pH-st ja orgaanilise aine sisaldusest (He, Singh, 1993). Oluline on ka raskmetalle sisaldavate ühendite lahustuvus. Katses, kus kõõgivilju väetati fosforiidijahuga, mis sisaldas Cd 64 mg/kg, ei suurenenud ekstraheeruva Cd sisaldus mullas ega Cd kontsentratsioon taimedes. Põhjuseks nimetavad autorid (He, Singh, 1995) fosforiidi halba lahustuvust, mistõttu temas sisalduv Cd ei ole taimedele omastatav.

Raskmetallide omastamisele avaldab mõju ka kasvusubstraadi või -mulla reaktsioon, paljud teadlased peavad seda üheks põhiliseks taimede raskmetallisaldust mõjutavaks teguriks.

Happelistel muldadel kasvanud taimed on karbonaatsetel muldadel kasvanutest valdavalt Pb- ja Cd-rikkamad (Kärblane jt., 1998).

Lupjamine vähendab raskmetallide liikuvust mullas ja selle tulemusena nende omastamist taimede poolt. Kui mullalahuse reaktsioon on pH 6,0...6,5 piirides, siis enamik raskmetalle moodustab raskestilahustuvaid karbonaate. Lupjamine soodustab ka orgaaniliste ainete ja raskmetallide kompleksühendite teket (Ovtšarenko jt., 1996).

Mulla pH tõstmine vähendas oluliselt porgandi ja spinati Cd-sisaldust (He, Singh, 1995). Lebedeva jt. (1997) katsetes Cd-ga saastunud happelisel (pH_{KCl} 4,5) mullal omastasid porgandi ja söögipeedi taimed Cd eriti aktiivselt, suurte lubiväetise normide kasutamine võimaldas juurviljade Cd-sisaldust vähendada.

Rootsi Keskkonnakaitse Agentuuri käivitatud multidistsiplinaarse uurimisprojekti (Oskarsson jt., 1996) ühe allteema raames selgus, et nii toksiliste kui ka vajalike mikroelementide sisaldus taimedes (porgand, kartul, suvinisu) korreleerus mulla pH-ga ning olenes lubiväetiste kasutamisest, samuti taimeliigist. Mulla hapestumisel suurenes mitmete raskmetallide (Ni, Zn, Cd, Mn) akumulatsioon taimedes. Muldade lupjamilisel vähenes taimedes Ni-, Zn- ja Mn-sisaldus, kuid lupjamise mõju taimede Cd- ja Cu-sisaldusele ei olnud alati ühesuunaline. Selgus, et väikesed kuni mõõdukad lubiväetise normid vähendasid saagi Cd-sisaldust, suured lubiväetise normid aga hoopis suurendasid seda. Autorid arvavad, et lubiväetise selline ebasoodne toime on tingitud Cd ja Ca konkurentsist mullaosakeste pinnal. Laboratoorse uurimusega tehti kindlaks, et Ca lisamine mobiliseerib asenduvat Cd ja seega suurendab Cd omastatavust taimede poolt. Lupjamise vastuolulist toimet saagi Cd-sisaldusele on varem kirjeldanud ka teised autorid (Andersson, Siman, 1991), kuid lõplikku selgitust sellele probleemile seni veel ei ole.

Mullas olevate raskmetallide ionide sisenemist ning liikumist maapealsetesse osadesse, eriti aga assimilaate talletavatesse organitesse suudavad taimed piirata. Kultuuriti on see piiramise võime aga erinev. Näiteks tomat on võrdlemisi hästi kaitstud raskmetallide liigse omastamise ja akumulatsiooni eest, söögipeet aga mitte (Iljin, 1997a).

Taime arengu algetappidel on maapealne osa raskmetallide sisenemise eest nõrgalt kaitstud. Selle põhjuseks peetakse juuresüsteemi veel ebapiisavat väljaarenemist. Neid kultuure, mille puhul toiduks tarvitatakse noori vegetatiivorganeid (lehed, varred), soovitatakse kasvatada hea puhverduvõimega muldadel ja substraatidel (Iljin, 1997a).

Substraadis sisalduvate biogeensete ja toksiliste elementide kontsentratsiooni muutustele reageerib oma keemilise koostise kaudu väga tundlikult salat (Markelova jt., 1997). Autorid

tegid kindlaks, et Pb ja Cd kontsentratsiooni suurenemine substraadis põhjustas toodangus mitte ainult nende elementide sisalduse suurenemist, vaid muutis salati keemilise koostise halvemaks ka teiste elementide (Cu, Ni, Co) poolest. Orgaanilise aine rikastel neutraalsele lähedase reaktsiooniga aiandussubstraatidel korraldatud katsetes varieerus salati raskmetallisaldus sõltuvalt külviajast, mineraalse toitumise tasemest ning substraadi Pb- ja Cd-sisaldusest suurtes piirides – Cu ja Ni puhul 2...4 korda, Co ja Cr puhul 5 korda, Pb ja Cd puhul aga 10 ja rohkem korda (Markelova jt., 1997). Ka Schönhardi (1986) andmeil varieerub salati raskmetallisaldus olenevalt kasvutingimustest suurtes piirides (Pb 2,6...8,5 mg/kg ja Cd 0,35...8,1 mg/kg). Aleksejev (1987) märgib, et salat ja spinat võivad Cd akumulierida väga suurtes kontsentratsioonides (kuni 100 mg/kg !!) ning seejuures mitte ilmutada mürgisussümptome.

Uurimustest on selgunud, et raskmetalle akumulierisid kõige rohkem lehtköögiviljad – salat, petersell, hapuoblikas -, mõnevõrra vähem redis, tomat, till, porgand. Kõige vähem raskmetalle leidis väikese fütomassiga köögiviljades (sibul, küüslauk) ja vahakirmega kaetud lehtedega kultuurides (kapsas). Erinevused taimeliikide raskmetallisalduses olid kuni 40-kordsed (Lutšitskaja, Utšvatov, 1997). Eelnimetatud kirjandusallikast kahjuks ei selgu, kas köögiviljades talletunud raskmetallid pärinesid mullast (substraadist) või atmosfäärist. Atmosfäärisaaste puhul on söödavate lehtedega liigid tõenäoliselt potentsiaalselt ohtlikumad kui näiteks juurköögiviljad.

Oma uurimused

Materjal ja meetodika

Uurimistöö viidi läbi Eesti Maaviljeluse Instituudi saagi kvaliteedi analüüsi osakonnas Eesti Teadusfondi uurimisraha toetusel. Töö algetapil 1995. ja 1996. aastal koguti geoloogia-kandidaat Aada Teedumäe juhendamisel Eesti erinevates piirkondades paiknevatest maardlastest, maardlate erinevatest lademetest ja fraktsioonidest karbonaatkivimite proove. Kivimid jahvatati AS EDK-s, osakeste suurus <0,2 mm. Riigi Taimekaitseameti Agrokeemiakeskuses määrati kivimijahude neutraliseerimisvõime, Ca-, Mg- ja raskmetallisaldus. Samad näitajad määrati ka põlevkivituha kahes partiis, sest edasistes katsetes oli põlevkivituha variant kontrolliks. Analüüsitulemuste alusel tehti lubiväetiste seas valik ning korraldati nendega taimekasvatustlikud katsed. Taimede kasvudünaamika, saagi suuruse, saagi biokeemilise koostise jm. näitajate kõrval oli uurimisobjektiks ka raskmetallide (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr) sisaldus.

Katsed kasvuhooneköögiviljadega korraldati Sakus aastail 1995...1997, raskmetallisaldust uuriti põhiliselt 1996. aastal. Katsekultuurideks olid salat, kurk, tomat ja paprika. Köögivilju kasvatati turvassubstraatidel, mille valmistamisel happeline (pH_{KCl} 3,1) rabaturvas neutraliseeriti vastavalt katsevariandile kas tolmpõlevkivituhaga, Padise lubjakivijahuga, Anelema dolomiidijahuga või lubjakivi- ja dolomiidijahu seguga vahekorras 1:1 või 3:1. Lubiväetise norm oli 8 kg 1 kuupmeetri turba kohta. Salati ning kurgi- ja tomatiistikute katsetes segati substraadisse 1 kuupmeetri kohta 1,25 või 1,5 kg täisväetist (N10 P7 K16 + mikroelemendid). Tomati, kurgi ja paprika viljakandeealiste taimede (saagiks) kasvatamisel oli täisväetise norm 2,4 kg/m³.

Katsenõudena kasutati salati puhul 10 liitri mahutavusega augustatud põhjaga plastmasskausse. Tomati- ja kurgiistikud kasvatati suurtes istikupottides. Tomati, kurgi ja paprika saaki andvaid taimi kasvatati 30 liitrit substraati mahutavates konteinerites, taimede arv selles vastavalt 2, 2 ja 3. Korduste arv oli 3...4 (salat ja viliköögiviljad) ning 6...8 (istikud).

Raskmetallisaldus substraatides määrati 4 nädalat pärast nende valmistamist. Salatis määrati raskmetallid kuivainest pärast saagi koristamist. Kurgi- ja tomatiistikutes määrati need istikufaasi lõppedes, analüüsiks kuivatati ja peenestati igast variandist 5 taime, välja arvatud istikute peavarred. Kurgi- ja tomatilehtede raskmetallisaldus viljakandeperioodil määrati noortes (ladvast alates 3. ja 4. täielikult väljaarenenud leht) ja vanades (alumised, taimelt kärbitavad lehed) lehtedes. Saagiperioodi jooksul määrati viljade kuivaines raskmetallid tomatil ja kurgil kahel korral, paprikal ühel korral.

Avamaaköögiviljade (valge peakapsas, porgand, söögipeet) raskmetallisaldust uuriti Lõuna-Eesti tugevasti happelisel (pH_{KCl} 4,17) saviliivmullal korraldatud põldkatses 1996.

aastal. Mulla raskmetallisaldus (mg 1 kg kuivas mullas) enne katse rajamist oli järgmine: Pb 9,2; Cd 0,095; Zn 7,7; Ni 1,09. Katses võrreldi erinevate lubiväetiste (tolmpõlevkivituhk, Anelema dolomiidijahu ning Anelema dolomiidijahu ja Padise paejahu segu 1:1) toimet, lubiväetise norm oli 5 t/ha CaCO₃. Lubiväetised viidi mulda 1996. a. kevadel. Katselapi suurus oli 27 m², sellel kasvatati kolme köögiviljakultuuri. Katse olid kolmes korduses. Raskmetallid määrati kõikidelt kordustelt eraldi võetud köögiviljaproovidest.

Kõik raskmetallide analüüsid tegi pr. Aita Kruus toleaegsest Riigi Taimekaitseameti Agrokeemiakeskusest. Üldjuhul on määratud nende üldsisaldus, välja arvatud erandjuhul tabelis 1.

Katsetulemused ja arutelu

Raskmetallisaldus lubiväetistes ja substraatides.

Raskmetallide liikuvaid vorme sisaldas tolmpõlevkivituhk rohkem kui Anelema ja Rõstla dolomiidijahud (tabel 1): Pb 51,5...114,4%, Cd 38,5...66,7%, Zn 82,5...239,1%, Ni 35,1...50,7% ja Cr 92,3...192,0%. Põlevkivituha Pb-, Zn-, Ni- ja Cr-sisaldus osutus oluliselt kõrgemaks ka lubjakivijahu (antud juhul on metoodiliselt õige võrrelda vaid Padise paejahuga) vastavate elementide sisaldusest. Kui ühesugusel metoodilisel alusel, s.t. üldsisalduse järgi võrreldi lubjakivi- ja dolomiidijahusid (paariti vastavalt Vasalemma ja Otissaare ning Padise ja Anelema), siis selgus, et dolomiidijahudes oli Pb ja Cd vastavalt 7...25% ja 21...32% vähem kui lubjakivijahudes. Vasalemma maardlast kogutud mitmesuguse karbonaatse materjali proovide analüüsimisel selgus, et sõelmed sisaldasid vähem Cd ja veidi rohkem Pb kui samast lademest pärit 5...10 mm killustik.

Tabel 1. Raskmetallisaldus (mg/kg) karbonaatkivimite jahudes ja tolmpõlevkivituhas
Table 1. The content of heavy metals (mg/kg) in meals of calcareous rocks and oil-shale ash

Maardla, lubimaterjali iseloomustus <i>Deposit, lime material</i>	Pb	Cd	Zn	Ni	Cr
<u>Dolomiidijahud / Dolomite meal</u>					
*Rõstla	16,5	0,25	4,0	6,8	7,5
*Anelema I	16,1	0,24	2,9	7,4	10,0
*Anelema II ^{x)}	15,3	0,26	2,3	6,9	10,4
Otissaare (AS Kaltsiit), sõelmed / <i>siftings</i>	23,1	0,33			
Kunda, Lasnamäe lademe dolomiidistunud kiht	23,4	0,41			
<u>Lubjakivijahud / Limestone meal</u>					
*Padise paejahu (AS Harbet) ^{x)}	20,4	0,38	2,0	7,7	8,0
Vasalemma marmor, killustik 5...10 mm / <i>marble shivers</i> 5...10 mm	24,8	0,50			
Vasalemma marmori sõelmed / <i>siftings of marble</i>	25,2	0,37			
Vasalemma hall killustik, 5...10 mm / <i>gray shivers 5...10 mm</i>	24,0	0,50			
Vasalemma hallid sõelmed / <i>gray siftings</i>	24,8	0,34			
*Tolmpõlevkivituhk I ^{x)} / <i>Oil-shale ash I</i>	25,0	0,36	7,8	10,0	20,0
*Tolmpõlevkivituhk II / <i>Oil-shale ash II</i>	32,8	0,40	7,3	10,4	21,9

* Raskmetallid on määratud liikuva vormina (1 n HNO₃ väljatõmbest); teistes proovides üldsisaldusena (konts. HNO₃ väljatõmbest).

^{x)} Nende lubiväetistega rajati kasvuhoone- ja avamaaköögiviljade katsed.

Turvassubstraatide neutraliseerimise katses (1995) kasutati Anelema ja Rõstla dolomiidijahusid ning tolmpõlevkivituha normiga 5 kuni 12 kg 1 m³ turba kohta. Selliste normide puhul viidi dolomiidijahuga substraadisse 81,5...196 mg Pb ja 1,2...2,9 mg Cd ning tolmpõlevkivituha 125...300 mg Pb ja 1,8...4,3 mg Cd. Kuu aega pärast substraatide valmistamist tehtud analüüsid näitasid, et dolomiidijahudega (n=16) neutraliseeritud õhukuiv substraat

sisaldas Pb keskmiselt 17,8 mg/kg ja Cd 0,25 mg/kg. Põlevkivituhaga (n=8) neutraliseeritud õhukuiv substraat sisaldas Pb keskmiselt 23,8 mg/kg ja Cd 0,37 mg/kg. Nendel substraatidel taimi ei kasvatatud.

Kasvuhooneköögiviljade kasvatamiseks (1996) erinevate lubiväetistega neutraliseeritud (8 kg lubiväetist 1 kuupmeetri turba kohta) substraadidesse sattunud raskmetallide koguste ning substraadide Pb- ja Cd-sisalduste (tabel 2) kõrvutamine näitas samuti, et substraadides ilmsesid kasutatud lubiväetiste raskmetallisaldusega samasuunalised erinevused. Ühtlasi selgus, et rabaturba happesust neutraliseeris kõige paremini tolmipõlevkivituhk ja kõige halvemini dolomiidijahu. Lubiväetise normi 8 kg/m³ puhul tõusis substraadi pH_{KCl} vastavalt 6,5 ja 5,6-ni.

Tabel 2. Lubiväetistega (väetisnorm 8 kg 1 m³ turba kohta) substraadisse viidud raskmetallide kogused (mg/m³), sisaldus substraadis ja substraadi pH_{KCl}

Table 2. Amounts of heavy metals given in the substratum with lime fertilizers (fertilizer rate 8 kg per cubic metre peat) and pH_{KCl} in the substratum

	Põlevkivi- tuhk / <i>Oil- shale ash</i>	Lubjakivi- jahu <i>Limestone</i>	Dolomiidi- jahu <i>Dolomite</i>	Lubjakivi- ja dolomiidijahu segu / <i>Meal of limestone and dolomite</i>	
				1:1	3:1
Substraati viidud raskmetallide kogus (mg/m ³) <i>Amount of heavy metals given in the substratum (mg per cubic metre):</i>					
Pb	200	163	122	143	153
Cd	2,9	3,0	2,1	2,6	2,8
Zn	62,4	16,0	18,4	17,2	16,6
Ni	80,0	61,6	55,2	58,4	60,0
Cr	160	64	83	74	69
Raskmetallisaldus substraadis (mg/kg õhukuivas turbas) <i>Content of heavy metals in the substratum (mg per kg air-dry matter):</i>					
Pb	19,0	15,5	15,0	14,0	16,0
Cd	0,26	0,28	0,24	0,22	0,24
Substraadi pH _{KCl} <i>pH_{KCl} in the substratum</i>	6,5	6,2	5,6	5,9	6,2

Raskmetallisaldus kasvuhooneköögiviljades.

Vastavalt katsevariandile viidi erinevate lubiväetistega substraadisse raskmetalle üsna erinevates kogustes (tabel 2). Cd, Ni ja Pb puhul olid erinevused 1,4...1,6-kordsed, Cr puhul 2,5-kordne ning Zn puhul 3,9-kordne. Kuid salatitaimede (tabel 3) raskmetallisalduses need erinevused ei kajastunud. Salati Pb-sisaldus praktiliselt ei muutunud. Teiste elementide puhul olid muutused 1,2...1,3-kordsed, seejuures ei olnud lubiväetise ja salati vastavate elementide sisaldus lineaarses sõltuvuses. Märgitakse (Baumeister, Ernst, 1978), et mulla Pb-sisaldus ja Pb omastamine taimede poolt ei ole lineaarses sõltuvuses seepärast, et Pb seotakse mullas tugevasti.

Tabel 3. Raskmetallisaldus salatis (mg/kg kuivaines) sõltuvalt turba neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetise (norm 8 kg/m³) liigist

Table 3. The content of heavy metals in lettuce (mg per kg dry matter) depending on different lime fertilizers (fertilizer rate 8 kg per cubic metre peat)

Raskmetall <i>Heavy metal</i>	Põlevkivi- tuhk <i>Oil-shale ash</i>	Lubjakivi- jahu <i>Limestone</i>	Dolomiidi- jahu <i>Dolomite</i>	Lubjakivi- ja dolomiidijahu segu / <i>Meal of limestone and dolomite</i>	
				1:1	3:1
Pb	2,53	2,60	2,50	2,47	2,40
Cd	0,54	0,54	0,64	0,59	0,61
Zn	89	98	116	105	108
Ni	1,40	1,61	1,25	1,46	1,51
Cr	2,71	2,81	2,08	2,29	2,08

Salati Cd- ja Zn-sisaldus oli kõige suurem dolomiidijahuga neutraliseeritud substraadil, vastavalt 18,5% ja 30,3% rohkem kui kontrollvariandis (põlevkivituhaga neutraliseeritud substraat) – vaatamata sellele, et põlevkivituhaga viidi substraati 38% rohkem Cd ja 239% rohkem Zn kui dolomiidijahuga. Põhjus peitub tõenäoliselt nende substraatide erinevas reaktsioonis. 8 kg põlevkivituhka 1 kuupmeetri turba kohta suutis viia pH_{KCl} 6,5-ni, sama suur kogus dolomiidijahu aga vaid 5,6-ni. Cd ja Zn omastatavus sõltub oluliselt substraadi reaktsioonist, pH tõustes see väheneb (Aleksejev, 1987; Mengel, Kirkby, 1987; Martens, Westermann, 1991).

Cd- ja Zn-sisaldusele vastupidiselt käitus Cr – tema sisaldus salatis oli kõige väiksem dolomiidijahuga, s.o. kõige madalama pH puhul. Happelisemas mullas on Cr teatavasti väheliikuvam kui neutraalses või nõrgalt karbonaatses mullas (Aleksejev, 1987). Mengel ja Kirkby (1987) märgivad, et kivimites ja mullas on Cr praktiliselt lahustumatute ühenditena ning seetõttu taimedele enamasti omastatamatu ning et Cr on taimedes väheliikuv.

Tomati- ja kurgiistikute raskmetallisalduse määramisel täheldati, et kurgitaimede kuivaine on raskmetalle – eriti Pb ja Cd – rohkem kui tomatitaimede kuivaine (tabelid 4 ja 5). Mõlema kultuuri puhul oli Pb-, Cd- ja Ni-sisaldus kõige madalam dolomiidijahuga neutraliseeritud substraadil. Selle põhjus on esialgu selgusetu. Märkimist väärib ehk see, et dolomiidijahu variandis oli istikute keskmine mass väiksem kui teistes katsevariantides – kurgiistikute puhul näiteks 16,8% ja tomatiistikute puhul 8,8% väiksem kui kontrollvariandis põlevkivituhaga.

Tabel 4. Raskmetallisaldus (mg/kg kuivaines) kasvuhoonetomati (sort F₁ 'Ida') lehtedes ja viljades sõltuvalt turba neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetise (norm 8 kg/m³) liigist

Table 4. The content of heavy metals (mg per kg dry matter) in tomato (variety F₁ 'Ida') leaves and fruits

Arenguperiood, taimeorgan, raskmetall / Phase of development, plant organ, heavy metal	Põlevkivituhk / Oil-shale ash	Lubjakivi-jahu / Limestone	Dolomiidijahu / Dolomite	Lubjakivi- ja dolomiidijahu segu / Meal of limestone and dolomite	
				1:1	3:1
<u>Istikuperiood, lehed / Plant phase, leaves</u>					
Pb	2,29	2,57	1,92	2,36	2,70
Cd	0,48	0,43	0,37	0,42	0,43
Zn	44,6	44,6	49,1	43,8	41,1
Ni	1,46	1,40	1,02	1,35	1,40
Cr	2,08	1,77	1,71	2,08	1,97
<u>Viljakandeperiood / Fruit phase</u>					
noored lehed / young leaves					
Pb	3,7	4,2	3,9	3,7	3,7
Cd	0,63	0,68	0,72	0,68	0,65
Zn	50,9	42,6	48,1	43,5	46,3
Ni	1,77	2,71	1,67	1,56	1,45
Cr	4,50	4,50	4,70	4,70	5,00
vanad lehed / old leaves					
Pb	3,9	4,2	4,3	3,9	3,7
Cd	1,03	1,19	1,30	1,30	1,08
Zn	112	119	137	135	135
Ni	1,88	2,71	1,77	1,67	1,67
Cr	6,00	5,80	6,00	5,50	5,00
viljad / fruits					
Pb	0,72	0,73	0,69	0,70	0,72
Cd	0,15	0,16	0,17	0,14	0,13
Zn	27,8	29,3	27,9	27,8	26,7
Ni	0,76	0,72	0,55	0,63	0,60
Cr	0,50	0,57	0,53	0,56	0,58

Tabel 5. Raskmetallisaldus (mg/kg kuivaines) kasvuhoonekurgi (sort F₁ 'Strema') lehtedes ja viljades sõltuvalt turba neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetise liigist**Table 5.** The content of heavy metals (mg per kg dry matter) in cucumber (variety F₁ 'Strema') leaves and fruits

Arenguperiood, taimeorgan, raskmetall / Phase of development, plant organ, heavy metal	Põlevkivituht / Oil-shale ash	Lubjakivi-jahu / Limestone	Dolomiidi-jahu / Dolomite	Lubjakivi- ja dolomiidijahu segu / Meal of limestone and dolomite	
				1:1	3:1
<u>Istikuperiood, lehed / Plant phase, leaves</u>					
Pb	4,02	4,19	3,39	4,01	4,01
Cd	0,59	0,68	0,54	0,65	0,62
Zn	46,2	51,5	50,8	52,5	49,6
Ni	1,67	1,67	1,27	1,61	1,67
Cr	2,10	1,86	2,18	2,60	2,50
<u>Viljakandeperiood / Fruit phase</u>					
noored lehed / young leaves					
Pb	5,2	6,3	5,4	6,1	6,3
Cd	0,63	0,81	0,75	0,56	0,75
Zn	76,9	78,8	75,9	78,4	76,9
Ni	2,08	2,29	2,19	2,39	2,39
Cr	4,50	5,70	4,70	5,00	5,30
vanad lehed / old leaves					
Pb	6,8	6,9	5,5	7,1	7,1
Cd	1,03	1,25	1,08	1,19	1,19
Zn	118	126	122	120	124
Ni	2,71	2,81	2,19	2,39	2,39
Cr	5,70	6,25	5,87	5,50	6,50
viljad / fruits					
Pb	1,29	1,22	1,30	1,44	1,31
Cd	0,19	0,18	0,18	0,19	0,19
Zn	31,9	32,2	33,6	31,2	28,7
Ni	1,14	0,92	0,88	0,91	0,82
Cr	1,00	0,92	0,98	1,02	0,85

Viljakandeperioodil sisaldasid kurgi lehed Pb ja Ni rohkem kui tomati lehed, Cd-sisalduse poolest olid kultuurid umbes võrdsed. Kui võrrelda noorte, aktiivselt fotosünteesivate lehtede ja vanade, taimelt kärbitavate lehtede raskmetallisaldust, siis Cd- ja Zn-sisaldus oli vanades lehtedes tunduvalt suurem kui nooremates taimeosades (tabelid 4 ja 5). Vanades lehtedes oli ka Cr mõnevõrra rohkem kui noortes lehtedes. Pb- ja Ni-sisalduselt olid erineva vanusega lehed praktiliselt võrdsed.

Märgitakse, et mulla ja väetiste kaudu taime sisenev Cd lokaliseerub põhiliselt juurtes ja maapealsetes vanemates organites. Väheliikuvaks peetakse ka Zn, mis paljudel juhtudel lokaliseerub juba alumiste taimeosade rakuseintes (Baumeister, Ernst, 1978; Mengel, Kirkby, 1987). Taimedes sisalduva Ni puhul on märkimisväärne, et seda leidub kõigis taimeosades ühtlaselt. Ni on valdavalt tsütoplasmas ja vakuoolides, rakuseintes lokaliseerub Ni vaid vähesel määral (Baumeister, Ernst, 1978). Ni liigub ksüleemis ja floemis kiiresti ning mõnede taimeliikide puhul võib eelisjärjekorras isegi viljadesse ja seemnetesse paigutuda (Marschner, 1997).

Erinevate lubiväetistega neutraliseeritud substraatidel kasvatatud kurgi ja tomati noorte ja vanade lehtede keemilise koostise võrdlemisel nende raskmetallisalduses olulisi seaduspärasusi ei leitud. Samuti ei mõjutanud turba neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetiste erinevus kurgi, tomati ja paprika viljade raskmetallisaldust. Viljade kuivaines oli raskmetalle tunduvalt vähem kui teiste taimeorganite kuivaines. Siiski väärib märkimist, et võrreldes teiste raskmetallidega akumuleerus viljadesse suhteliselt rohkesti Ni. See kinnitab H. Marschneri (1997) eelpool toodud järeldust Ni suhteliselt hõlpsast jõudmisest viljadesse.

Seega selgus, et tolmpõlevkivituhaga (8 kg 1 kuupmeetri turba kohta) neutraliseeritud turvassubstraadil kasvatatud kasvuhoonekõõgiviljade raskmetallide tase ei ole kõrgem kui sama suure koguse erineva koostisega karbonaatkivimijahudega, mille raskmetallisisaldus on põlevkivituha omast märksa madalam, neutraliseeritud substraadil kasvatatud kõõgiviljadel.

Kasvuhoonekõõgiviljadega korraldatud katsetest selgus ühtlasi, et salat akumuliseeris märksa rohkem raskmetalle kui samasugustes tingimustes kasvatatud vilikõõgiviljad kurk, tomat ja paprika (tabel 6). Kõigi katsevariantide keskmisena oli salati kuivaines Pb 1,9...3,5 korda, Cd 2,5...3,9 korda, Zn 3,3...5,6 korda, Ni 1,6...2,2 korda ja Cr 2,5...4,3 korda rohkem kui vilikõõgiviljades.

Tabel 6. Salati ja vilikõõgiviljade raskmetallidesisaldus (mg/kg kuivaines)
Table 6. The content of heavy metals in vegetables (mg per kg dry matter)

Raskmetall <i>Heavy metal</i>	Salat (n=15) <i>Lettuce</i>	Kurk (n=10) <i>Cucumber</i>	Tomat (n=10) <i>Tomato</i>	Paprika (n=5) <i>Sweet pepper</i>
Pb	2,50	1,31	0,71	0,89
Cd	0,58	0,19	0,15	0,23
Zn	103	31,5	27,9	18,3
Ni	1,45	0,93	0,65	0,88
Cr	2,39	0,95	0,55	–

Raskmetallisisaldus avamaakõõgiviljades.

Lubiväetiste toimet valge peakapsa, porgandi ja söögipeedi raskmetallisisaldusele uuriti 1996. a. Lõuna-Eesti tugevasti happelisel (pH_{KCl} 4,17) saviliivmullal. Kevadise mullaharimise eel antud lubiväetiste (norm 5 t/ha CaCO₃) toimet oli mulla pH_{KCl} sügiseks tõusnud 4,9 kuni 5,2-ni. Erinevate lubiväetistega sattus mulda raskmetalle tabelis 7 toodud kogustes. Tolmpõlevkivituha puhul sattus neid mulda oluliselt rohkem kui dolomiidijahuga või dolomiidi- ja lubjakivijahu 1:1 seguga: Pb kuni 1,9 korda, Cd kuni 1,6 korda, Zn kuni 4,3 korda, Ni kuni 1,7 korda ja Cr kuni 2,6 korda rohkem.

Tabel 7. Lubiväetistega (CaCO₃ 5 t/ha) mulda sattunud raskmetallide kogus (g/ha)
Table 7. The amount of heavy metals given in soil with lime fertilizers (CaCO₃ 5 t/ha)

Lubiväetis <i>Lime fertilizers</i>	Pb	Cd	Zn	Ni	Cr
Tolmpõlevkivituhk <i>Oil-shale ash</i>	152,5	2,2	47,6	61,0	122,0
Dolomiidijahu <i>Dolomite meal</i>	79,6	1,4	12,0	35,9	54,1
Dolomiidi- ja lubjakivijahu 1:1 <i>Meal of dolomite and limestone 1:1</i>	90,8	1,7	11,0	37,2	47,0

Üldiselt on teada, et mida happelisem on muld, seda liikuvad ja paremini omastatavad on enamik raskmetalle. Antud katses ilmses see seaduspärasus kõikide määratud raskmetallide (Pb, Cd, Zn, Ni) kohta vaid porgandi puhul ning Zn ja Ni osas ka kapsa ja söögipeedi puhul (tabel 8), s.t. lubiväetiseta kasvanud kõõgiviljad sisaldasid mõnevõrra rohkem raskmetalle kui lubjatud variantide kõõgiviljad. Kui võrrelda erinevate lubiväetiste toimet kõõgiviljade raskmetallisisaldusele, siis selgus, et mitmel juhul oli dolomiidi- ja lubjakivijahu segul eelis tolmpõlevkivituha suhtes.

Raskmetallide sisalduselt kuivaine kohta võis katses olnud kõõgiviljad reastada järgmiselt: Pb – kapsas = söögipeet > porgand; Cd – porgand > söögipeet > kapsas; Zn – söögipeet > porgand > kapsas; Ni – kapsas = söögipeet = porgand. Iljini (1997b) andmeil reastusid samad kõõgiviljakultuurid tööstuspiirkonnas raskmetallidega saastunud aiaviljadel raskmetallisisalduse järgi järgmiselt: Pb – kapsas = söögipeet > porgand ja Zn – peet > kapsas > porgand.

Cd akumuliseerisid juurkõõgiviljad (porgand, peet) kuni 2 korda rohkem kui peakapsas (tabel 8). Ka mõned teised autorid (He, Singh, 1995; Lebedeva jt., 1997) on täheldanud porgandi ja peedi aktiivset Cd omastamist. He ja Singh (1995) märgivad, et nõukatsetes oli

väetistega mulda viidud Cd tagastumise protsent porgandil kõige suurem, nimelt 20...105. Spinatil oli see näitaja näiteks 9...56, raiheinal 5...10, kaeral 4...15. Porgandi kõrge Cd tagastumise protsendi põhjuseks peavad autorid tema juurte võimet efektiivselt omastada väetistes sisalduvat Cd (teatavasti paistab porgand teiste köögiviljade seas silma ka mitmete toiteelementide hea omastamise poolest – M.J.). Ka põllutingimustes omastasid porgandi juured mullast oluliselt rohkem Cd kui raihein ja kaer. Atmosfäärist pärinev Cd aga mõjutas porgandi juurte Cd sisaldust märksa vähem kui teistel kultuuridel (Singh jt., 1991).

Tabel 8. Raskmetallide sisaldus (mg/kg kuivaines) avamaaköögiviljade saagis
Table 8. The content of heavy metals (mg per kg dry matter) in open ground vegetables

Kultuur, katsevariant <i>Vegetable, trial variant</i>	Pb	Cd	Zn	Ni
<u>Kapsas F₁ 'Carlton' / Cabbage</u>				
Lubiväetiseta (kontroll) <i>Without lime fertilizer</i>	1,37±0,03	0,16±0,03	14,0±1,1	1,62±0,19
Tolmpõlevkivituhk <i>Oil-shale ash</i>	1,55±0,03	0,17±0,02	13,2±0,3	1,46±0,18
Dolomiidijahu <i>Dolomite meal</i>	1,52±0,05	0,17±0,01	13,1±0,4	1,52±0,14
Dolomiidi- ja lubjakivijahu 1:1 <i>Meal of dolomite and limestone</i>	1,37±0,05	0,16±0,01	13,4±0,3	1,50±0,00
<u>Söögipeet 'Detroit' / Red beet</u>				
Lubiväetiseta (kontroll) <i>Without lime fertilizer</i>	1,33±0,06	0,27±0,01	41,5±1,3	1,65±0,13
Tolmpõlevkivituhk <i>Oil-shale ash</i>	1,46±0,09	0,27±0,01	31,6±0,8	1,71±0,04
Dolomiidijahu <i>Dolomite meal</i>	1,33±0,09	0,30±0,03	31,4±1,4	1,48±0,14
Dolomiidi- ja lubjakivijahu 1:1 <i>Meal of dolomite and limestone</i>	1,30±0,03	0,24±0,01	29,5±2,1	1,33±0,10
<u>Porgand 'Narbonne' / Carrot</u>				
Lubiväetiseta (kontroll) <i>Without lime fertilizer</i>	0,99±0,05	0,37±0,03	22,6±1,4	1,73±0,00
Tolmpõlevkivituhk <i>Oil-shale ash</i>	0,97±0,04	0,32±0,02	17,5±1,0	1,47±0,07
Dolomiidijahu <i>Dolomite meal</i>	0,88±0,00	0,32±0,02	20,8±0,1	1,57±0,16
Dolomiidi- ja lubjakivijahu 1:1 <i>Meal of dolomite and limestone</i>	0,92±0,04	0,31±0,01	18,5±0,3	1,50±0,15

Kokkuvõte

Tolmpõlevkivituhk sisaldas rohkem raskmetalle (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr) kui dolomiidi- ja lubjakivijahud.

Turvassubstraadi happesuse neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetiste (norm 8 kg 1 kuupmeetri turba kohta) raskmetallisisaldus üldiselt ei korreleerunud nendel substraatidel kasvatatud köögiviljade raskmetallisisaldusega.

Salati raskmetallisisaldus sõltus substraadi happesusest. Salat sisaldas dolomiidijahuga valmistatud substraadil (pH_{KCl} 5,6) kuni 18% rohkem Cd ja kuni 30% rohkem Zn ning kuni 27% vähem Cr kui teiste lubiväetistega neutraliseeritud substraatidel (pH_{KCl} 5,9 kuni 6,5). Kõrgema pH korral Cd ja Zn omastatavus väheneb, Cr omastatavus aga suureneb (Aleksejev, 1987).

Kurgi- ja tomatitaimede vanemad lehed sisaldasid Cd ja Zn rohkem kui nooremad lehed. Raskmetallisisaldus kurgi ja tomati viljades oli mitmeid kordi madalam kui lehtedes ega

sõltunud turba neutraliseerimiseks kasutatud lubiväetise raskmetallisaldusest ning substraadi pH-st.

Kasvuhoones turvassubstraadil kasvanud salat sisaldas raskmetalle 2 kuni 4 korda rohkem (arvestatuna kuivaine kohta) kui samades tingimustes kasvanud tomati, kurgi ja paprika viljad.

Tugevasti happelisel saviliivmullal sisaldasid köögiviljad (porgand, söögipeet, kapsas) enamasti rohkem raskmetalle (Pb, Cd, Zn, Ni) kui lubiväetistega väetatud (5 t/ha CaCO₃) mullal. Dolomiidi- ja lubjakivijahu seguga (1:1) lupjamisel oli köögiviljades mitmel juhul vähem raskmetalle kui põlevkivituha variandis. Juurköögiviljad (porgand, peet) akumulereerisid saagi kuivainesse 1,6...2,0 korda rohkem Cd ja 1,5...2,5 korda rohkem Zn kui peakapsas.

Kirjandus

- Aleksejev: Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Ленинград, 1987. – 142 с.
- Andersson A., Siman G. Levels of Cd and some other trace elements in soil and crops as influenced by lime and fertilizer level. – *Acta Agric. Scand.*, vol. 41, p. 3...11, 1991.
- Asher C. J. Beneficial Elements, Functional Nutrients, and Possible New Essential Elements. – In: *Micronutrients in Agriculture, Second Edition* (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch, eds.), p. 703...723, 1991.
- Baumeister W., Ernst W. Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. – Stuttgart–New York, Gustav Fischer Verlag, 1978. – 416 S.
- Elinder C.-G., Järup L. Cadmium Exposure and Health Risks: Recent Findings. – *Ambio*, vol. 25, No. 5, p. 370...373, 1996.
- He Q. B., Singh B. R. Plant Availability of Cadmium in Soils. – *Acta Agric. Scand. Sect. B*, vol. 43, p. 142...150, 1993.
- He Q. B., Singh B. R. Cadmium Availability to Plants as Affected by Repeated Applications of Phosphorus Fertilizers. – *Acta Agric. Scand. Sect. B*, vol. 45, p. 22...31, 1995.
- Пјин: Ильин В. Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам. – *Агрохимия*, № 4, с. 81...86, 1997а.
- Пјин: Ильин В. Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень её загрязнения тяжелыми металлами. – *Агрохимия*, № 11, с. 65...70, 1997б.
- Jerjomina, Butovski: Еремина О. Ю., Бутовский Р. О. Биохимические аспекты влияния тяжелых металлов на беспозвоночных животных. – *Агрохимия*, № 6, с. 80...91, 1997.
- Kärblane H. Orgaaniliste, fosfor- ja lubiväetiste toime raskmetallide sisaldusele taimedes. – *Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi Toimetised* 1, lk. 54...57, 1996.
- Kärblane H., Kevvai L. Raskmetallide sisaldus Eestis enamkasutatavates väetistes ja nende osa mulla raskmetallidega saastamisel. – *Agraarteadus*, nr. 4, lk. 393...404, 1995.
- Kärblane H., Kevvai L., Kanger J. Taimede Pb-, Cd-, ja Hg-sisaldus. – *Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi Toimetised* 6, lk. 55...58, 1998.
- Lebedeva jt.: Лебедева Л. А., Лебедев С. Н., Едемская Н. Л., Графская Г. А. Влияние известкования и органических удобрений на содержание кадмия в растениях. – *Агрохимия*, № 10, с. 45...51, 1997.
- Lutšitskaja, Utšvatov: Лучицкая О. А., Учватов В. П. Международный симпозиум «Тяжелые металлы в окружающей среде». – *Агрохимия*, № 6, с. 94...96, 1997.
- Markelova jt.: Маркелова В. Н., Ягодин Б. А., Белозерова Т. А., Саблина С. М. Элементный химический состав растений салата в зависимости от условий минерального питания. – *Агрохимия*, № 5, с. 41...45, 1997.
- Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. – Academic Press, London–Cambridge, 1997. – 889 p.
- Martens D. C., Westermann D. T. Fertilizer Applications for Correcting Micronutrient Deficiencies. – In: *Micronutrients in Agriculture, Second Edition* (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch, eds.), p. 549...591, 1991.
- Mengel K., Kirkby E. Principles of Plant Nutrition, 4th Edition. – International Potash Institute, Bern/Switzerland, 1987. – 687 p.
- Oskarsson A., Nordberg G., Block M., Rasmussen F., Petterson R., Skerfving S., Vahter M., Glynn A. W., Öborn I., Heikensten M.-L., Thuvander A. Adverse Health Effects Due to Soil and Water Acidification: A Swedish Research Program. – *Ambio*, vol. 25, No. 8, p. 527...531, 1996.

- Ovtšarenko jt.: Овчаренко М. М., Шильников И. А., Полякова Д. К., Графская Г. А., Иванов А. Е., Сопильняк Н. Т. Влияние известкования и кислотности почвы на поступление в растения тяжелых металлов. – Агрoхимия, № 1, с. 74...84, 1996.
- Römheld W., Marschner H. Function of Micronutrients in Plants. – In: Micronutrients in Agriculture, Second Edition (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch, eds.), p. 297...328, 1991.
- Schönhard G. Die Schwermetallbelastung Berliner Kleingärten und ähnlicher Bereiche. – Gesunde Pflanzen, H. 6, S. 258...263, 1986.
- Singh B. R., Steinnes E., Myhr K. Plant uptake of soil cadmium and atmospheric cadmium in southern and Central Norway. – In: Farmer I. G. (ed.) Heavy Metals in the Environment. Part 2. CEP Consultants LTD., Edinburgh, p. 25...28, 1991.
- Van Campen D. Trace Elements in Human Nutrition. – In: Micronutrients in Agriculture, Second Edition (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch, eds.), p. 663...701, 1991.