

Slutrapport

Kadmiuminnehåll i matpotatis. Betydelse av odlingsåtgärder, markfaktorer och sorter.

Helene Larsson Jönsson – SLU, Hortikultur; Håkan Asp – SLU, Hortikultur; Charlott Gissén – SLU, Jordbruk

Bakgrund

Kadmium (Cd) är en tungmetall som ackumuleras i njurarna och kan hos känsliga personer ge upphov till bland annat njurproblem och benskörhet (Järup *et al.*, 1998; Alfvén, 2002). För att minska människans intag av kadmium via födan krävs mer forskning om potatis, spannmål och köksväxter, då dessa baslivsmedel bidrar med ca 70 % av vårt dagliga kadmiumintag (Grawé, 1996). Vikten av att minska kadmiumintaget betonas ytterligare i en rapport av European Food Safety Authority (EFSA, 2009) där nya mycket lägre gränser för kadmiumintag har satts. Rapporten visar också att t ex vegetarianer kommer över gränsen för högsta rekommenderat kadmiumintag p g a högt intag av vegetabilier. Det har gjorts och görs en hel del forskning på vete, men potatis, som faktiskt bidrar med 20 % till vårt dagliga kadmiumintag, är en dåligt utforskad gröda ur kadmiumhänseende. Det har gjorts några sortscreeningar på potatis (Olsson, 1998; Grawé *et al.*, 2001), dock är en screening av nya potatissorter kombinerat med fördjupade studier i hur man kan minska Cd-innehållet i knölen med hjälp av rätt odlingsteknik högst intressant för att kunna säkra potatisodlingen även på så kallat "kadmiumhögriskjordar".

De senaste åren har kadmiumproblemet belysts en hel del i medierna, vilket leder till att konsumenterna blir mer medvetna om riskerna med tungmetallen kadmium. Potatis är en produkt med väldigt hög kvalitet och för att i framtiden bibehålla denna kvalitetsstämpel kan det höjas krav på att kadmiuminnehållet reduceras.

Korrelationen mellan markkoncentration av kadmium och slutlig kadmiumkoncentration i de skördade potatisknölarna är svag (Grawé *et al.*, 2001) och odlingsanvisningar till potatisodlare baserade på markkoncentrationen eller prover från delar av fält är svårt att få väl underbyggda. Dessutom ger årsmånsvariationer, framför allt vattentillgången (Eriksson, 1990), svårigheter att få konsistenta, tillämpliga råd. Kostnaden i tid och pengar för kadmiumscreening på skiftesnivå blir således ohanterbar. Vi tror att man genom att välja rätt odlingsåtgärder, till exempel kvävegödslingsstrategi, kan begränsa Cd-innehållet i potatisknölen. Detta kan i förlängningen innebära att en odlingsvärd sort som är Cd-högackumulerande skulle kunna odlas med specifika odlingsåtgärder.

I potatisplantan tas kadmium upp via de basala rötterna (Reid *et al.*, 2003), transporteras i xylemet (växtens organ för mineralnärlings- och vattentransport) till stjälk och blad, varifrån transport sker via floemet (växtens transportväg för fotosyntesprodukter till t ex lagringsorgan) till knölen. Denna omlagring från xylem till floem kan vara en viktig faktor för sortskillnader i Cd-innehåll i potatis. Upptag av kadmium kan också ske via peridermet (skalet). Denna väg är av mindre betydelse då ingen vidare transport inåt i knölen sker (Reid *et al.*, 2003). Försök har visat att skalning endast reducerar kadmiuminnehållet med ca 10 % (Olsson, 1998).

Skillnader i Cd-upptag mellan olika sorter bör bero på skillnader dels i upptag från marken och dels omlagring inom växten. Dunbar *et al.*, 2003, undersökte två australiensiska potatissorter som skiljde sig angående Cd-innehåll i knölen och fann att dessa tog upp lika mycket kadmium, men att den ena sorten behöll en betydligt större andel i sina rötter. I bägge sorterna var det en god korrelation mellan Cd-innehållet i bladen och i knölen. Dessa resultat pekar på att upptaget från marken och transporten till bladen var de viktigaste faktorerna som gav en sortskillnad i Cd-innehåll i knölen. Ytterligare studier av sortskillnader och funktionerna bakom dessa är av stor vikt för att kunna begränsa Cd-innehållet i knölen.

Kadmiumkoncentrationen i potatisknölen beror förutom på sorten även på mängden växttillgängligt kadmium i marken samt odlingsåtgärder såsom kvävegödsling och kalkning. Mängden växttillgängligt kadmium styrs främst av pH, halten organiskt material, lerhalt samt av den totala kadmiumhalten (Maclean, 1976; Eriksson, 1990; Jansson och Öborn, 2000). Kvävegödslingen är en väldigt viktig faktor då den påverkar pH i marken och därmed tillgängligheten av kadmium. I försök med surgörande gödselmedel såsom ammoniumkväve och urea har en ökning av kadmium erhållits i raps respektive durumvete (Eriksson, 1990; Mitchell *et al.*, 1999), vilket delvis beror på den pH-sänkning som sker i rotzonen då växten balanserar ammoniumupptaget med utsöndring av vätejoner. En australiensisk potatisstudie visar dock resultat som motsäger detta. Där sker en ökning av kadmium i knölen efter att ha gödslats med nitratkväve jämfört med ammoniumkväve (Maier *et al.*, 2002). Man har även sett att Cd-upptaget är beroende av mängden kväve och i försök med durumvete och vete ökade Cd-upptaget med ökad kvävegiva (Mitchell *et al.*, 1999, Jönsson & Eriksson, 2003; Wångstrand, 2007). Det råder därför osäkerhet om det är effekter på tillgängligheten av kadmium eller på Cd-omlagringen i växten som är den viktigaste faktorn av kvävegödslingens påverkan på Cd-innehållet i växten.

Material och Metoder

Fältförsök 1

Fältförsöket var beläget på Borgeby gård och sköttes av Hushållningssällskapet Malmöhus. Försöket var ett randomiserat split-plot blockförsök med 4 replikat. Fem olika N-behandlingar testades på 2 matpotatissorter som var hög- respektive låg- Cd-ackumulerande enligt en tidigare gjord sortscreening. De olika N-nivåerna var 60, 160 samt 240 kg N ha⁻¹ som NPK mikro 11-5-18. Denna mängd kväve gavs i en giva vid sättning för att undersöka kvävetts effekt på Cd-innehållet i knölen. Vi ville även se om det var någon skillnad mellan att ge allt kväve vid en tidpunkt jämfört med att dela upp kvävegivan. Detta testade vi i två led som fick 100 + 60 kg N respektive 120 + 60 + 60 kg N ha⁻¹. Andra kvävegivan gavs som N28 och den tredje som kalksalpeter. Försöket sköttes som en konventionell odling gällande bekämpning, bevattning och övrig gödsling. Jordprover togs före sättning samt 2 veckor efter varje gödslingstillfälle för att undersöka markparametrarnas inflytande på Cd. Blastdödning gjordes med Reglone en månad före slutskörd. Knölprover togs vid två tillfällen, 80 dagar respektive 150 dagar efter sättning. Vid första skördetillfället skördades 5 plantor per ruta och de 4 största knölna från varje planta sparades för analys. Vid slutskörden sparades 10 kg från varje ruta och från dessa togs 10 representativa knölar ut. Slutskörden sorterades också i följande fraktioner; < 42 mm, 42-55 mm, 55-65 mm and > 65 mm.

Fältförsök 2

Försöket var beläget på en gård i Borgeby och sköttes av lantbrukaren enligt gängse praxis. De ingående sorterna var samma som i fältförsök 1. Kvävestrategierna var följande; 60 NPK mikro 11-5-18, 160 NPK mikro 11-5-18, 100 + 60 NPK mikro 11-5-18, 160 kalksalpeter och

160 ammoniumsulfat, kg N ha⁻¹. Mängden P och K balanserades med PKS 7-25-3 så att alla rutor erhöill samma mängd av P och K. Bladprover togs vid tidpunkterna 77, 105 och 131 dagar efter sättnig. Det tredje fullt utvecklade bladet från apex samlades in från 20 plantor per ruta och torkades för analys. Jordprover togs före sättnig samt kontinuerligt under säsongen för att undersöka markparametrarnas inflytande på Cd. Blastdödning gjordes med Reglone en månad före slusksörden. Knölnarna skördades 170 dagar efter sättnig och hanterades som i föregående försök.

Biotronförsök

Samma sorter som i fältförsöken odlades under kontrollerade förhållanden i klimatkammare i biotronen på Alnarp (400 μmol m⁻² s⁻¹ PAR, 16 h fotoperiod, 20°/18° dag/natt temp och 70 % relativ fuktighet). Odlingen skedde i 10 liters odlingskärl som fylldes med jord från fältförsöksplatsen på Borgeby gård. Kärlen gödslades vid sättnig med 60, 160 eller 240 kg N ha⁻¹ (NPK mikro 11-5-18). Odlingen pågick i totalt 3 månader och under tiden togs bladprover vid fyra tillfällen samt två blast- och knölskörden, som sparades för analys.

Upptagsförsök

Försöken ägde rum i klimatkammare i biotronen på Alnarp (400 μmol m⁻² s⁻¹ PAR, 16 h fotoperiod, 20°/18° dag/natt temp och 70 % relativ fuktighet). Från den högCd ackumulerande sorten togs potatispluggar med ett skott som sattes i vermikulit. Efter ca 15 dagar sattes småplantorna i 25 l backar med luftad fullständig näringslösning (pH 5.6) där de tillväxte och acklimatiserade sig i 10 dagar. Sedan kördes 3 olika upptagsförsök med ¹⁰⁹Cd där effekten av pH, kväveform och kvävekoncentration undersöktes. Det fanns totalt 25 nM kadmium i lösningen, som CdCl₂ x 2½H₂O och ¹⁰⁹Cd inmärkt CdCl₂ (555 kbq L⁻¹). I ett försök mättes Cd-upptaget vid pH 4,5, 5,5 och 6,5 i NO₃⁻/NH₄⁺-näringslösningar buffrade med 10 mM MES. I ett annat försök undersöktes Cd-upptaget vid stigande kvävekoncentrationer; 6,5, 13 och 26 mM NO₃⁻/NH₄⁺ vid pH 5,6 i obuffrad näringslösning. I det tredje försöket testades samma kvävekoncentrationer som ovan vid pH 4, 5 och 6,5 i näringslösning buffrad med 10 mM MES. Plantorna stod i den radioaktiva näringslösningen i 24 h, sen tvättades plantorna i tvättlösning bestående av näringslösning med 10 ggr högre Ca-koncentration för att tvätta bort kadmiumjoner från rotyterna. Plantorna skördades, torkades i 70°C i 2 dygn och våtförbrändes. Radioaktiviteten mättes med en vätskescintillations spektrometer.

Analys

Knölnarna sköljdes och en längsgående borkärna togs ut (9 mm Ø). Skalet togs bort och provet hackades och torkades i 70°C i 2 dygn. I biotrförsöket analyserades knölnar med en diameter större än 23 mm. Bladproverna torkades, maldes och analyserades på samma sätt som knölnarna. Materialet maldes och 0,5 g våtförbrändes i HNO₃ (65 %) i mikrovågsugn varefter proverna analyserades på ICP (ICP-MS; Cd, Cu, Zn och Fe, ICP-OES; Ca, K, Mg, P och S). pH på jordproverna i fältförsök 2 mättes i destillerat vatten (jord:vatten, 1:5; ISO 10390:2005 IDT).

Resultat

Fältförsöken

I fältförsöken framkom det att den lägsta kvävegivan, 60 kg N ha⁻¹, gav den högsta kadmiumkoncentrationen i knölnen vid skörd jämfört med 160 respektive 240 kg N ha⁻¹ (Fig. 1). Skillnaden i kadmiumkoncentration mellan leden framkom inte förrän de sista 2 månaderna innan slusksörden. Leden med delad kvävegiva gav inga signifikanta skillnader i knölkadmiumkoncentration jämfört med de led som fick allt kväve vid sättnig (Fig.1).

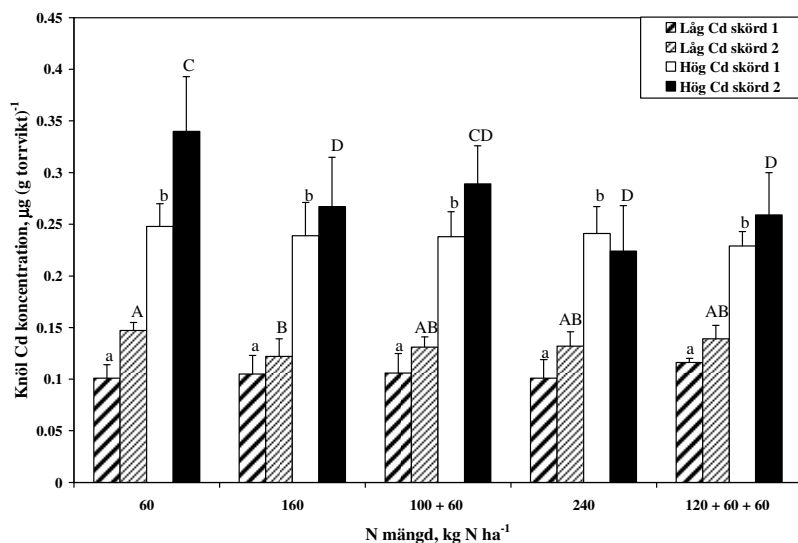


Fig. 1. Kadmiumkoncentration, $\mu\text{g (g torrsvikt)}^{-1}$, i knöl vid 2 skördetidpunkter; 1: 060803, 2: 061012. Kvävebehandlingarna var 60, 160 respektive 240 kg N ha^{-1} vid sättnings och delad giva som 100 + 60 respektive 120 + 60 + 60 kg N ha^{-1} . Medelvärde + SD. $P < 0,05$.

Försöket med NPK, kalksalpeter och ammoniumsulfat visade att kväveformen har betydelse för kadmiumkoncentrationen i potatis (Fig.2). Potatisen som var gödslade med NPK, innehållande både nitrat-N och ammonium-N, hade lägre kadmiumkoncentration än de som var gödslade med ammoniumsulfat. I lågCdsorten gav även kalksalpeter en högre kadmiumkoncentration jämfört med NPK. De regelbundna jordprovtagningarna som skedde under säsongen visade att pH var signifikant lägre i ammoniumsulfatleden jämfört med både NPK och kalksalpeter under hela tillväxtsäsongen. Det var ingen signifikant skillnad i avkastning mellan NPK, kalksalpeter och ammoniumsulfatbehandlingarna.

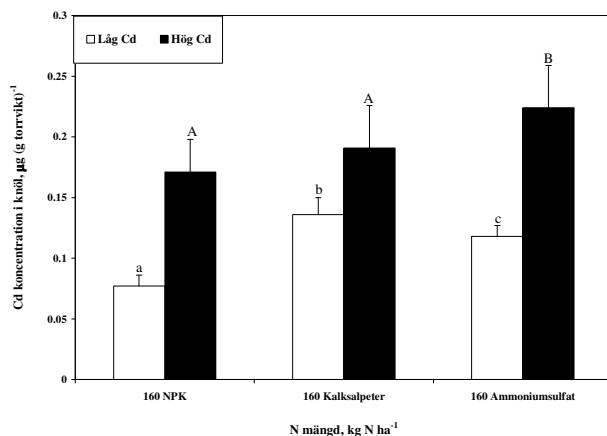


Fig.2. Kadmiumkoncentration i knöl vid skörd, $\mu\text{g (g torrsvikt)}^{-1}$. 160 kg N tillfördes som NPK 11-5-18 mikro, kalksalpeter respektive ammoniumsulfat. Medelvärde + SD. $P < 0,05$.

Under tillväxtsäsongen togs bladprover där bl a kadmiuminnehållet analyserades. Vi fann att det rådde ett signifikant linjärt förhållande mellan kadmiumkoncentrationen i tredje bladet från apex och kadmiumkoncentrationen i knölen vid skörd då alla behandlingar och båda sorterna togs i beaktning (Fig.3). Den bästa korrelationen erhöles 77 dagar efter sättnings (35 dagar efter uppkomst). Kadmiumkoncentrationen var ungefär tre gånger så hög i bladen jämfört med knölna.

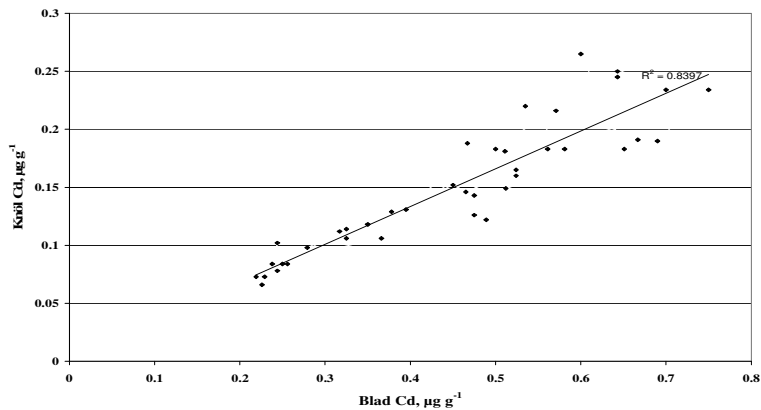


Fig.3. Korrelation mellan kadmiuminnehåll i knöl och kadmiuminnehåll i 3:e bladet från apex 77 dagar efter sättning.

Biotronförsöket

Detta försök skedde parallellt med det första fältförsöket och testade NPK i en startgiva på 60, 160 respektive 240 kg N ha⁻¹. Försöket gav inga signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Tillväxtsäsongen var dock mycket kortare än i fält, 92 dagar jämfört med 150 dagar i fältförsök 1. Den tidiga skörden, 80 dagar, i fältförsök 1 gav ju inte heller några skillnader mellan behandlingarna, vilket är en möjlig förklaring till resultatet i krukodlingen. Jämförelsevis var kadmiumkoncentrationen i knölar odlade i fältförsöken ca 3 gånger högre än de odlade i kruka i klimatkammare.

Upptagsförsöken

Försöken med ¹⁰⁹Cd visade att kadmiumupptaget i potatisplantorna ökade med ökat pH i den buffrade upptagslösningen (Fig. 4). pH hade störst påverkan på kadmiumupptaget då kväve tillfördes som nitrat.

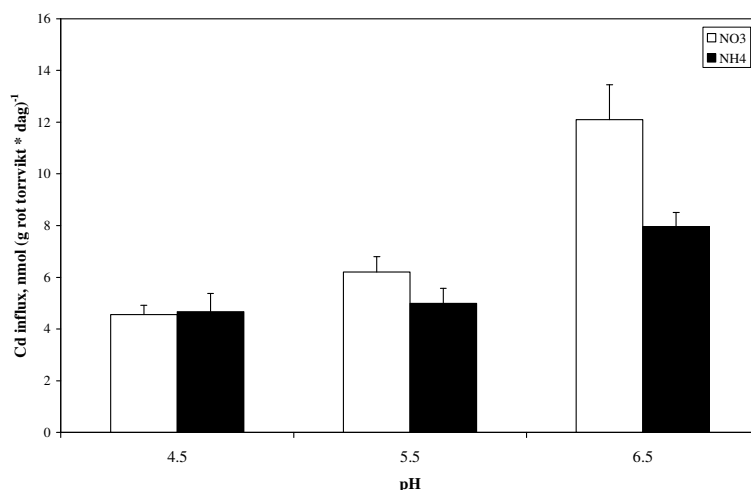


Fig.4. Totalt kadmiumupptag i potatisplantor i radioaktiv buffrad näringlösning, nmol (g rot torrvekt * dag)⁻¹. Kväve tillfördes som nitrat respektive ammonium, 13 mM. pH 4,5, 5,5 respektive 6,5 undersöktes. Medelvärde + SE. n = 6.

I försök med stigande kvävekoncentration, 6,5, 13 samt 26 mM, minskade Cd-upptaget med ökad kvävekoncentration (Fig.5.). Plantorna som behandlats med nitratkväve har högre Cd-

upptag jämfört med de som fått ammoniumkväve. I upptagsförsöken användes genomgående låga Cd koncentrationer, 25 nM, som i de tillväxtstudier vi gjort med potatis, ej visat sig hämma tillväxten. I ett obuffrat tillväxtförsök fick vi tillväxthämningar med ammonium, troligen på grund av den stora pH-sänkningen som skedde. För att undvika dessa pH-svängningar i våra försök har vi buffrat lösningarna med MES, som är en organisk buffert.

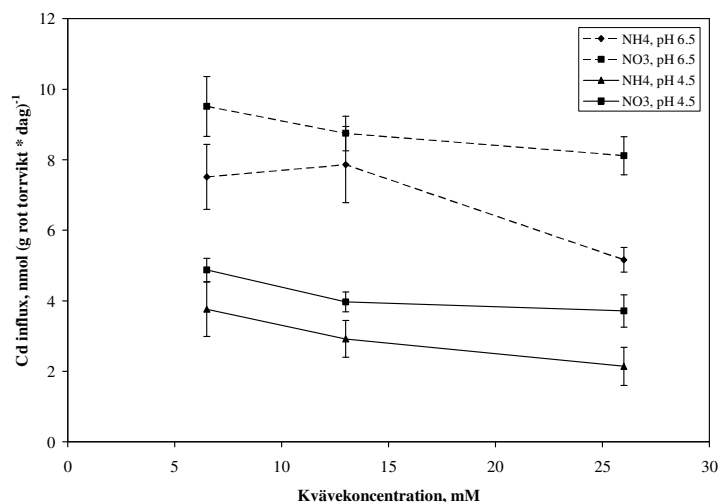


Fig.5. Totalt kadmiumupptag i potatisplantor i radioaktiv buffrad näringslösning, $\text{nmol (g rot torr vikt * dag)}^{-1}$. Kväve tillfördes som nitrat respektive ammonium med följande koncentrationer; 6,5, 13, 26 mM. pH 4,5 samt 6,5 undersöktes. Medelvärde + SE. n = 6.

Diskussion

Det finns en stor sortvariation i förmågan att lagra kadmium i knölen, vilket visats i vår förstudie då 13 svenskodlade sorter undersöktes, men även i kommersiellt odlade sorter i Australien (McLaughlin *et al.*, 1997). Sorterna som odlats i projektet, lågCd samt högCd, uppvisade ”genetisk stabilitet” då lågCd innehöll lägst kadmiumkoncentration i både, rot, skott, blad och knöl under alla experimentella förhållanden vi testat.

Fältförsöken visade att låga kvävegivor, 60 kg N ha^{-1} , ger högre kadmiumkoncentration i knölen (Fig.1.), vilket inte var som förväntat då t ex vete tar upp mer kadmium vid ökade kvävenivåer (Gray *et al.*, 2002, Jönsson & Eriksson 2003, Wångstrand *et al.*, 2007). Det verkar inte gå att dra några säkra paralleller mellan potatis och stråsäd, troligen pga att transportvägarna för kadmium och dess inlagring till knöl respektive kärna skiljer sig åt. Den högre kadmiumkoncentrationen i potatis vid låg kvävegiva kan bero på lägre tillväxt vid 60 kg, vilket indikerar att kadmium tas upp i samma mängd oberoende av tillväxten. Resultatet stöds av upptagsstudien med radioaktivt kadmium som visade att kadmiumupptaget var högst vid de lägre kvävekoncentrationerna (Fig.5.). Resultaten från de olika skördetillfällena visar att mycket av kadmiuminlagringen till knölna sker i slutet av säsongen. Bladprov visade att kadmiumkoncentrationen vid den tidiga skörden var högre i den låga kvävebehandlingen, vilket senare avspeglades i högre kadmiumkoncentration i knölna vid slutskörden. Detta stödjer tidigare resultat från Reid *et al.* (2003) som visat att det kadmium som tas upp via rötter transporteras till bladen där det omlagras och transporteras via floemet till knölna. Den linjära korrelationen mellan kadmiumkoncentration i blad och knöl visar också att kadmium transporteras till knölna oberoende av växtens kadmiuminnehåll eller knöltillväxt (Fig.3). Om ett flertal sorter och odlingsförhållanden undersöks skulle man kunna använda

detta förhållande som en prognosmetod för att under säsongen förutspå vilken kadmiumkoncentration man kommer att få vid skörd.

Våra försök visade att delad kvävegiva inte påverkade kadmiumkoncentrationen i potatis, vilket indikerar att den direkta pH fluktuation som sker vid gödslingstillfället inte har större betydelse än den totala påverkan av gödslingen under säsongen.

Enligt många studier på en mängd olika växtslag har kväveformen betydelse för kadmiumupptaget i växter (Eriksson 1990; Gray *et al.*, 2002; Hassan *et al.*, 2008). Växternas preferens för nitrat/ammonium kan påverka den kadmiumresponsen, men i de allra flesta fall ökar surgörande gödselmedel såsom ammonium sulfat kadmiuminnehållet i växter. Faktorer såsom start pH, markens buffringsförmåga samt vilken motjon som tillförs med kvävet påverkar gödslingseffekten på kadmium (Grant *et al.*, 1999). I våra försök ökade kadmiumkoncentrationen i knölar då ammoniumkväve tillfördes jämfört med NPK (Fig.2.). Då man tillför ammoniumjoner sker en sänkning i mark-pH eftersom växten balanserar upptaget av ammonium med vätejoner. En sänkning av pH ökar tillgängligheten av kadmium i marken och följaktligen kan mer kadmium tas upp av växterna. Våra pH-mätningar visade att de ammoniumgödslade leden hade lägst pH under hela tillväxtperioden. LågCd-sorten innehöll även högre kadmiumkoncentration då den gödslades med kalksalpeter, som är ett basiskt gödselmedel (Fig.2.). Denna effekt kan inte relateras till pH då kalksalpeter- och NPK-leden följdes åt. En möjlig förklaring är att kalciumjonen, som är motjon till nitrat i kalksalpeter, spelar en viktig roll för kadmiumförloppet. Troligen kan kalciumjonerna i markvätskan byta plats med kadmiumjoner som finns bundna på markpartiklarna och därmed öka tillgängligheten av kadmium för växterna. Speciellt vid höga mark-pH tror Grant *et al.* (1999) att denna effekt kan vara av större betydelse än effekten av gödselmedlet i sig. Det faktum att kalkning, som är en standardåtgärd mot bl a höga kadmiumnivåer, ibland ger ökade kadmiumkoncentrationer i växterna trots en pH-sänkning, visar på den komplexitet som råder kring kalcium och dess påverkan på kadmium.

Det är allmänt vedertaget att vid låga mark-pH tar växterna upp mer kadmium och pH anses ofta vara den viktigaste faktorn att kontrollera för att begränsa kadmium i grödorna. Fältförsök gjorda på ett flertal grödor har visat att kadmiuminnehållet i grödan ökar vid lägre pH (ref.). Detta stämmer dock inte alltid, då McLaughlin *et al.* (1994) fann att potatis innehöll mer kadmium då de odlades vid pH 6-7 än om de odlades vid lägre eller högre pH. Resultatet förklarades med att försöket gjordes på en salin jord som innehöll höga kloridhalter som påverkade resultatet. Det är ett faktum att lågt pH ökar tillgängligheten av kadmium, men enligt våra upptagsförsök gjorda i näringslösning är upptaget av kadmium större vid pH 6,5 än vid pH 4,5 (Fig.4 & 5). Samma resultat har också setts i upptagsförsök med sojaböna (Ohya *et al.*, 2008). I våra buffrade upptagsförsök med näringslösning är tillgängligheten av kadmium densamma vid de olika pH som undersökts.

I kortfattade drag visade fältförsöken att låg kvävegiva (60 kg N) ger ökat kadmiuminnehåll i potatis, att delad kvävegiva inte påverkar kadmiuminnehållet samt att ett balanserat, pH-neutralt kvävegödselmedel ger lägst kadmiuminnehåll i potatis. Upptagsförsöken som skedde under kontrollerade förhållanden i näringslösning visade kadmiumupptaget i potatis ökar med ökat pH och att kadmiumupptaget är lägre vid ökad kvävekoncentration i lösningen. Vidare visade försöken att ammoniumkväve gav lägre kadmiumupptag än nitratkväve då man bortsåg från pH-påverkan. Dessa resultat visar på den komplexitet som råder kring kadmium och dess upptag av växter i odling.

Det vore intressant att i framtida projekt titta mer på problematiken kring kalciumjonen och hur kalkning påverkar kadmiuminnehållet i potatis. Ger kalkning enbart en pH-effekt eller är kalcium-effekten av större betydelse ur kadmiumhänseende? Då man strävar åt att minimera kvävegödslingen och att många nya potatissorter kräver lägre kvävemängder vore det intressant att undersöka effekten av låga kvävegivor på ett större antal sorter.

Publikationer

Larsson Jönsson H. 2007. Kadmium – en het potatis? *Viola* 24: 24-25

Larsson Jönsson E.H. och Asp H. 2009. Influence of nitrogen supply on cadmium accumulation in potato tubers. Skickad till *Journal of Plant Nutrition*.

Larsson Jönsson E.H. och Asp H. 2009. The effect of pH and nitrogen on Cd-uptake in potato. Manus till *Plant Soil*.

Övrig resultatförmedling till näringen

Larsson Jönsson H. 2007. Kadmiuminnehåll i matpotatis – Betydelse av odlingsåtgärder, markfaktorer och sorter. Potatisdagarna, Lilla Böslid, Sverige

Larsson Jönsson H. 2009. Kadmium i potatis. Alnarps trädgårdskonferens, Alnarp, Sverige.

Referensgruppsmöten på Alnarp 070123 samt 090610

Referenser

Alfvén T. 2002. Bone and kidney effects from cadmium exposure – dose effect and dose response relationships. Doktorsavhandling. Karolinska Institutet, Stockholm.

Dunbar K.R., McLaughlin M.J. and Reid R.J. 2003. The uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.) *J. Exp. Bot.* 54: 349-354.

EFSA. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on cadmium in food. 2009. *The EFSA Journal* 980: 1-139.

Eriksson J. E. 1990. Effects of nitrogen-containing fertilizers on solubility and plant uptake of cadmium. *Water, Air and Soil Pollution* 49: 355-368

Eriksson J.E. 1990. Factors influencing adsorption and plant uptake of cadmium from agricultural soils. Reports and dissertations, 4. Swedish Univ. Agric. Sci. Dept. Soil Sci.

Grant C.A., Bailey L.D., McLaughlin M.J., Singh B.R. 1999. Management factors which influence cadmium concentrations in crops. In: M.J. McLaughlin and B.R. Singh (eds), *Cadmium in soils and plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 151-198.

Grawé K.P. 1996. Kadmium i våra njurar – var kommer det ifrån? *Vår Föda* 6, 10-12

Grawé K.P., Öborn I. & Gustafsson K. 2001 Kadmium och andra spårelement i matpotatis odlad i Sverige- ett utvecklingsprojekt inom miljöövervakningen. Slutrapport till Naturvårdsverket avtal 222 0006, 222 0010. 30 sid

Gray C.W., Moot D.J., McLaren R.G, Reddecliffe, T. 2002. Effect of nitrogen fertiliser applications on cadmium concentrations in durum wheat (*Triticum turgidum*) grain. NZ J. Crop Hort. Sci. 27: 169-179.

Hassan M.J., Shafi M., Zhang G., Zhu Z., Qaisar M. 2008. The growth and some physiological responses of rice to Cd toxicity as affected by nitrogen form. Plant Growth Regul. 54: 125-132.

Jansson G. & Öborn I. 2000. Cadmium content of Swedish carrots and the influence of soil factors. Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci. 50: 49-56.

Järup L., Berglund M., Elinder C.G., Nordberg G. & Vahter M. 1998. Health effects of cadmium exposure – a review of literature and a risk of estimate. Scan J work environ Health 24: 1-52.

Jönsson, J.Ö. & Eriksson J. The effect of fertilisation for higher protein content on Cd level in wheat grain. In: G. Gobran & N. Lepp. (Eds.) 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE), Uppsala '03, Conference Proceedings 1:I, 242-243.

Maier N.A., McLaughlin M.J., Heap M., Butt M. & Smart M.K. 2002. Effect of nitrogen source and calcitic lime on soil pH and potato yield, leaf chemical composition and tuber cadmium concentrations. J. Plant Nutr. 25(3): 523-544

McLaughlin M.J., Palmer L.T., Tiller K.G., Beech T.A., Smart A.K. 1994. Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. J. Environ. Qual. 23: 1013-1018.

McLaughlin M.J., Maier N.A., Rayment G.E., Sparrow L.A., Berg G., McKay A. Milham P. Merry R.H. & Smart M.K. 1997. Cadmium in Australian potato tubers and soils. J. Environ.Qual. 26: 1644-1649

Mclean A.J. 1976. Cadmium in different plant species and its availability in soils as influenced by organic matter and addition of lime, P, Cd and Zn. Can. J. Soil Sci. 56: 129-138.

Mitchell L.G., Grant C.A. & Racz G.J. 2000. Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and in durum wheat. Can. J. Soil Sci. 80(1): 107-115

Ohya T., Tanoi K., Iikura H., Rai H., Nakanishi T.M. 2008. Effect of rhizosphere pH condition on cadmium movement in soybean plant. J. Radioanalytical Nuclear Chem. 275: 247-251.

Olsson K. 1998. Kadmiumupptag i potatis och morötter. Meddelande från Södra jordbruksförsöksdistriktet, nr 49, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp

Reid R.J., Dunbar K.R, Mclaughlin M.J. 2003. Cadmium loading into potato tubers: the roles of the periderm, xylem and phloem. *Plant Cell Env.* 26: 201-206.

Welch R.M., Hart J.J, Norvell W.A., Sullivan L.A. and Kochian L.V. 1999. Effects of nutrient solution zinc activity on net uptake, translocation, and root export of cadmium and zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum turidum* L. var *durum*) seedling roots. *Plant and Soil.* 208: 243-250.

Wångstrand H., Eriksson J., Öborn I. 2007. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *Europ. J. Agronomy* 26: 209-214.