

# *Inverkan av kisel på Cd ackumulering i vetekärna*

**Maria Greger<sup>1,2</sup> och Tommy Landberg<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>Botaniska institutionen, Stockholms Universitet, 106 91 Stockholm, Sverige

<sup>2</sup>Fakulteten för Tillämpad Ekologi och jordbruksvetenskap, Blæstad, Høgskolan i Hedmark, 2322 Ridabu, Norge

## **Bakgrund**

### Problemet

I Sverige kommer 43% av det Cd som intas dagligen från olika veteprodukter (Hellstrand och Landner 1998). Kadmium (Cd) är toxiskt och är känt för att ge lungkancer, njurskador och skeletturkalkning, som kan leda till benskörhet (Nordberg 1996). Troligtvis är 10% av alla njurskador relaterat till hög Cd nivå (Vather pers. kom.). Orsaken till högt kadmiumintag via veteprodukter är att vissa arealer för veteproduktion har förhöjda tillgängliga Cd halter i jorden (Eriksson et al. 2000). Dessutom ackumulerar olika vetesorter olika mycket Cd i sina kärnor (Greger och Löfstedt 2004). Dessvärre är det oftast vete med hög proteinhalt som har den högsta Cd nivån. På grund av hälsorisen är det viktigt att sänka kadmiumnivån i vetekärna.

Vi har funnit att kisel kan minska Cd-halten i kärna med upp till 50%, och dessutom ökar kisel biomassaproduktionen. En kiseltilförsel skulle därför kunna leda till en stor minskning av Cd i vetekärna samtidigt som avkastningen skulle öka. Dessutom har gödseltillverkarna goda argument för gödsling med kisel eftersom kisel ökar resistansen mot patogener och gör att plantan äts i mindre grad av herbivorer (ex. Hammersmidt 2005). Vidare förbättrar kisel jordens strukturella egenskaper samt minskar det tillgängliga Al i jorden (Hodson och Evans 1995). Dessutom minskas vattentranspirationen hos växten (Kupfer och Kahnt 1992) och växten blir allmänt mer tolerant mot abiotiska faktorer (ex. Ahmad et al 1992).

Målsättning är därför att ta reda på den informationen som behövs för att kunna använda kisel på ett optimalt sätt till att minska kadmiumhalten i vetekorn i en veteodling.

### Resultat från våra tidigare studier på inverkan av kisel på kadmium i vete.

I våra tidigare studier har vi funnit att kisel påverkar Cd-halten i skott och kärna, även om Cd-upptaget inte påverkades signifikant av kisel. Cd-halten i skotten minskade med 25 % och Cd halten i kärnan med hela 50 % när vi tillsatt extra kisel. Med medel från SLF fann vi att kisel ökar biomassaproduktionen med ca 17 % för hela plantan och ca 10% för kärnan, och ökningen blev större med ökad kiseltilförsel. Vidare fann vi att proteinhalten i kärnan ökar något, dock inte signifikant med tillsatt kisel. Kisel gav upphov till 5 nya proteiner i kärnan. Den kiselhalt som tillfördes gav en marginellt högre kiselhalt (ca 1,3-2 ggr) i kärnan än vad man finner i vetekärnor från fält, som är ca 0,12 %.

Kadmiumupptaget från jordlösningen påverkas inte av kisel, men vi vet inte om kadmium fastläggs till jordpartiklarna eller frigörs till jordlösningen vid kiseltilförsel. En förändring i jordlösningskoncentration påverkar givetvis upptaget i växten. Kisel påverkar Cd-halten i kärnan hos alla undersökta vetesorter. Dock minskar kadmiumhalten mest hos de hög-ackumulerande sorterna (upp till 50 %). Detta beror på att Cd-transporten från rot till skott och från skott till kärna minskar, men inte på Cd-upptaget från näringslösning (som inte förändras). Transporten av kadmium från flaggblad till rot påverkas också av kisel på så sätt

att fördelningen av Cd till roten minskar och Cd transporten till skottet av det i flaggbladet ökar något med kisel.

Syftet med detta projekt var

- Att ta reda på hur Si påverkar den tillgängliga Cd-halten i jord och därmed upptaget i vete och vilken kiselhalt som ger optimal effekt.
- Att ta reda på den bakomliggande orsaken till att Si minskar Cd-halten i vetekorn.
- Att ta reda på hur Si påverkar Cd i kärnan samt vilka 5 proteiner som nybildas.

## Material och metoder

*Plantmaterial.* Totalt 25 vetesorter av vårbröd-, höstbröd-, durum- och spelt-vete (Dinkel). Dock har inte alla sorter använts i alla delförsök. Vetesorternas ackumuleringskapacitet av Cd i kärnan, som är känd från tidigare studier, har i delförsöken använts i jämförande studier. Vanligaste sorterna i delstudierna är; vårbrödvete, Vinjett (lågackumulerare), Tjalve (högackumulerare); höstbrödvete, Tarso (lågackumulerare), Kosack (högackumulerare); durum, Helidur (lågackumulerare), Grandur (högackumulerare).

### *Kisels inverkan på kadmiums uppbindning i jorden*

#### **A. Kisels inverkan med tiden**

Natriumsilikat tillsattes i koncentration motsvarande 160 mg per kg jord. Eftersom kiseltillförseln påverkar pH samt tillför natrium så tillfördes natriumhydroxid med samma mängd Na och gav ett likvärdigt pH. Nämnas bör att pH inte nämnvärt förändrades i förhållande till kontrolljord utan tillsats. Även kontrolljord utan tillsats användes. Två uppsättningar gjordes; en utan vete och en med vete. Där odlades durumvete, Grandur (hög-Cd-ackumulerande) eller Helidur (låg-Cd-ackumulerande), 27 dagar mot slutet av kiselbehandlingen av jorden. Därefter analyserades kadmiumhalten i skotten.

Jorden provtogs efter 0, 50, 65 respektive 75 dagar. Proverna extraherades sedan sekventiellt enligt Kabala and Singh (2001) för att erhålla olika jordfraktioner av kadmium. Jorden extraherades även enligt Höhn et al. (2008) för att ta reda på hur kisel bundits. Kadmium och kisel analyserades m.h.a. atomabsorptionsspektrofotometri (AAS).

#### **B. Inverkan av olika kiselkoncentrationer på olika jordtyper**

Natriumsilikat tillsattes i olika koncentrationer (motsvarande 1 % och 10 % kisel per kg jord) till sandjord från Torslunda, Öland, lerjord från Brunnby Gård, Västerås samt jord med 80% organiskt material (Weibull blomjord). I dessa jordar såddes Vinjett och jordprov togs efter 95 dagars behandling. Jordproven extraherades därefter enligt Tessier et al. (1979), vilket innebär att samma prov fraktionerades sekventiellt enl. följande: 1.  $MgCl_2$  (utbytbar fraktion), 2. NaOAc (karbonatbundet) 3.  $NH_2OH$  (Mn- och Fe-bundet), 4.  $H_2O_2$  (organiskt bundet), 5.  $HNO_3$  (rest). Kadmium och kisel analyserades m.h.a. AAS.

### *Kisels inverkan på anatomin hos vete.*

Durumvete, Grandur (hög-Cd-ackumulerande) och Helidur (låg-Cd-ackumulerande), odlades upp i perlit och därefter i näringslösning med 0 eller  $0,5\mu M$  Cd med eller utan 1mM Na-silikat i 1 vecka. Växterna undersöktes på följande:

1) avståndet mellan rotspets och suberiniserad endodermisvävnad i rötterna samt cellväggarnas suberinisering i skiktet mellan rötter och skott. Om avståndet minskar minskar också mängden som kan transporteras till skottet.

2) xylemkärlens sammanlagda area i rötterna. Visar om större volym kan transporteras.

3) floemvävnadens area i bladen. En förändring kan påverka tillbakatransport av Cd till rötterna.

Detta undersöktes genom att snitta vävnaden och därefter färga den med 1) Fluoral Yellow, 2) o 3) anelinblått och därefter undersöka den fluorescerande vävnaden med fluorescensmikroskop samt mäta arean med hjälp av ett datorprogram (Lucia).

### ***Kisels inverkan på nybildning och metylering av polygalakturonsyra samt analys av katjonutbyteskapacitet (CEC)***

Kisels förändring på uppbindning av Cd undersöktes. Fördelning av Cd i xylem, apoplasm, cellvägg, cytosol och vakuol analyserades enl. Lozano-Rodriguez et al. (1997) och Lopez-Millan et al. (2000) med 3 veckor gamla plantor av Vinjett och Tjalve (hydroponiskt odlade) med Cd i kombination med eller utan Si (0,5 mM). Xylem- och apoplast-saft centrifugerades fram sekventiellt. Cellvägg-, cytosol- och vakuol-fraktionering genomfördes sekventiellt med olika centrifugeringar. Cellväggarnas katjonutbyteskapacitet (CEC) analyserades enl. Spearing (1972). Plantan delades upp i rot, stam, blad, frön och skärmfjäll. Barium användes som utbytesjon och analyseras med AAS. Då eventuell förändring i cellväggs-CEC kan ske undersöktes polygalakturonsyra och metylering av cellväggarna då dessa påverkar cellväggs-CEC. Polygalakturonsyra analyserades enl. Fazio m.fl (1982) och metylering analyserades enl. Etichia et al (2005) i rot och skott i samma material från 3 veckor gamla plantor av Vinjett, Tjalve, Helidur och Grandur. Kadmium och kisel analyserades m.h.a. AAS.

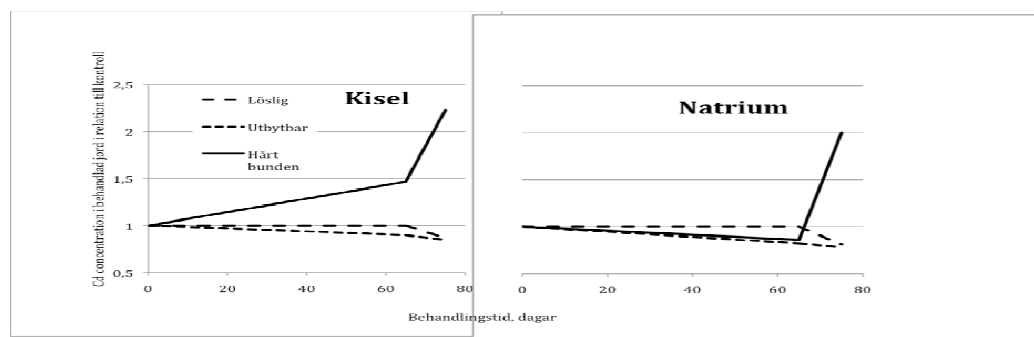
### ***Kisels inverkan på proteinbildning samt lokalisering av kisel i frön***

Protein analyserades i fullmogna kärnor från Vinjett (L), Tjalve (H), Tarso (L), Kosack (H) (H och L indikerar hög- resp. låg-Cd-ackumulerande sort). Proteinerna fraktionerades upp i 5 fraktioner enl. Osborne (1907) (modifierad av Lookhart och Bean (1995)). Prov fraktionerades sekventiellt till albuminer, globuliner, gliadiner, gluteniner och rest och analyserades med HPLC enl. Lookhart och Bean (1995).

Lokalisering av Si i kärnan analyserades på snitt av fullmogna vetekärnor från Vinjett (L), Tjalve (H), Tarso (L), Kosack (H), Helidur (L) och Grandur (H) (H och L indikerar hög- resp. låg-Cd-ackumulerande), odlade i 0,5 mM Si. Lokaliseringen analyserades med ESEM-teknik (Environmental Scanning Electron Microscope som hyrdes av institutionen för Geokemi, Stockholms Universitet).

## **Resultat**

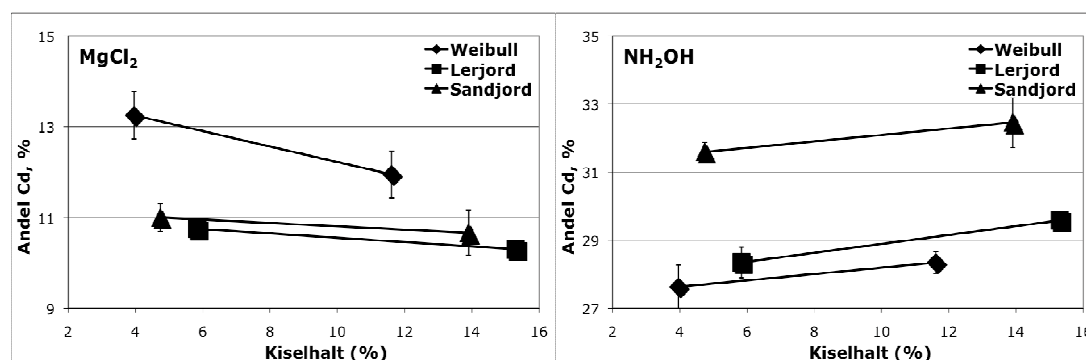
Kisel minskar den lösliga och den utbytbara fraktionen av kadmium i jorden och ökar den hårt bundna med tiden (Fig. 1). Eftersom natriumsilikat har en snabbare inverkan än natriumhydroxid och att den hårt bundna fraktionen ökar mer i närvaro av kisel än hydroxid så är orsaken troligtvis både en pH-ökningen och att kisel påverkar kadmium att binda upp på annat sätt.



**Figur 1.** Natriumsilikat (kisel) respektive natriumhydroxids (natrium) effekt på kadmiumuppbindning till olika jordfraktioner (Löslig, utbytbar samt hårt bunden) efter olika behandlingstid

Undersökning av storleken hos kadmiumbindande fraktioner i olika jordtyper visar att kadmium binds hårdast i lerjord (Fig. 2). Däremot visas ingen stor skillnad hos de olika jordtyperna i effekten av kisel. En liten ökning med kisel tillförseln ökar i NH<sub>2</sub>OH-fraktionen

samtidigt då den minskar i motsvarande grad i  $MgCl_2$ -fraktionen. I övriga fraktioner är kisels effekt varierande.  $NH_2OH$ -fraktionen är en mer hårt bunden fraktion än  $MgCl_2$ -fraktionen.



**Figur 2.** Effekten av olika kiselkoncentrationer, tillsatt som natriumsilikat, inverkan på kadmiumuppbindingen i tre olika jordar; lerjord, sandjord samt jord med hög organisk halt (Weibull). Två olika jordfraktioner visas,  $MgCl_2$ -fraktion och  $NH_2OH$ -fraktion.  $n=5$ ,  $\pm SE$ .

Halten av Cd i plantan påverkas av kiselhalten i jorden, dock olika i olika jordtyper. Kisel påverkar Cd upptaget i plantan i större grad i lerjord och jord med hög organisk halt än sandjord. I Weibulljorden och lerjorden minskar Si signifikant ackumulering av Cd i skottet, vilket ej är fallet med sandjord, med de kiselkoncentrationer som här använts. Däremot minskas kadmiumupptaget i skottet med Si med större signifikans vid längre behandlingstid också i sandjord (Tabell 1).

Tabell 1. Koncentration av Cd i skott från 2 olika durumvetesorter (Helidur och Grandur) som växt i jord behandlat med eller utan  $Na_2SiO_3$  65 respektive 75 dagar. Växterna var 27 dagar gamla när de skördades. Bokstäver indikerar signifikanta skillnader mellan behandlingarna för varje odling.  $n=3$ ,  $\pm SD$ .

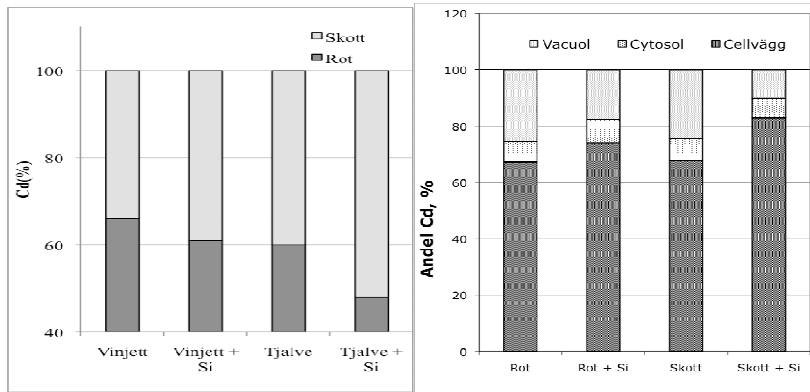
Behandling av jord	Cd, ng gDW <sup>-1</sup>
65 dagar, Grandur	
Kontroll	170 ± 0 <sup>a</sup>
$Na_2SiO_3$	106 ± 1 <sup>b</sup>
75 dagar, Helidur	
Kontroll	67 ± 64 <sup>ab</sup>
$Na_2SiO_3$	26 ± 2 <sup>b</sup>

De anatomiska studierna visade att kisel inte påverkade xylemkärlens area eller den totala kärlareans storlek i rötterna. Ej heller påverkades floemvävnadens storlek i bladen. Däremot fann vi att avståndet mellan rotspetsen och den suberiniserade endodermisvävnaden minskade både med kadmium och ännu mer med kisel (Tabell 2). Cellväggarnas suberinisering i skiktet mellan rötter och skott påverkades däremot inte av Si.

Tabell 2. Avstånd (cm) mellan rotspets och suberinisering av endodermis.  $n=10$ ,  $SE \pm 10\%$

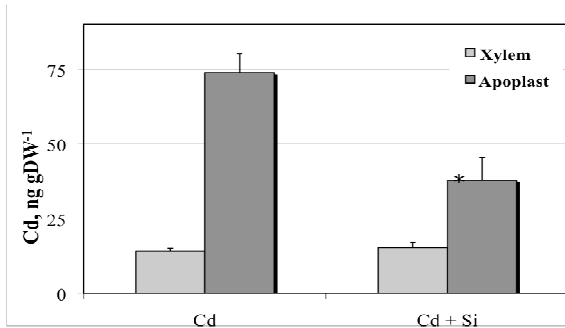
Vetesort	Kontroll	Cd	Si	Cd+Si
Grandur	5,5	4,0	3,0	2,0
Helidur	4,0	1,5	1,5	1,0

Fördelningen av Cd mellan rot och skott påverkas av Si, likaså fördelningen i cellen (Figur 3). Translokeringen av Cd till skottet minskar med 8 – 40 % beroende på sort (ej visat). Figur 3 visar hur andelen Cd i skott minskar med Si-behandling, särskilt i vakuolen, samtidigt som andelen i roten ökar, speciellt i cellväggen.



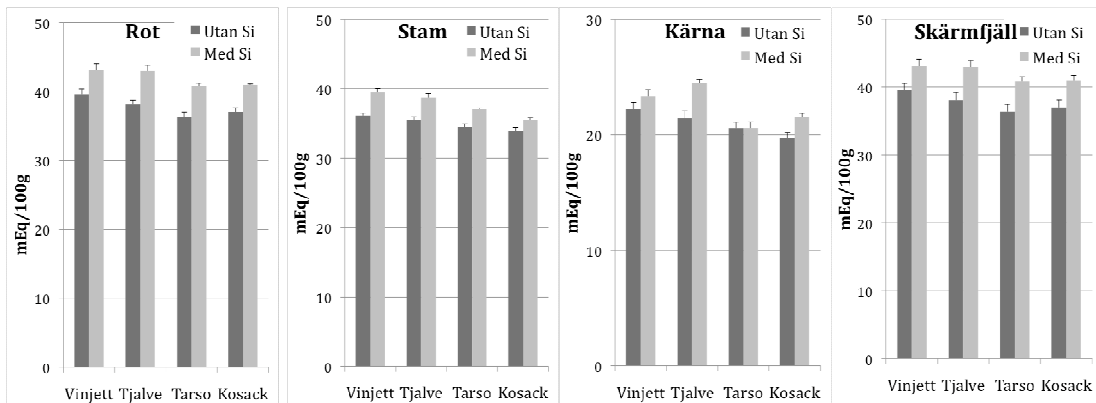
Figur 3. Fördelning (%) av kadmium mellan rot och skott (vänster figur) i två vetesorter (Vinjett, låg-Cd-ackumulerare och Tjalve, hög-Cd-ackumulerare) samt fördelning av Cd i olika cellfraktioner (cellvägg, cytosol och vakuol) i rot och skott (höger figur). Plantor är behandlade med Cd (34 nM) med och utan Si (0,5 mM).

Kisel minskar halten Cd i apoplasten med c:a 50 % medan halten i xylemet inte påverkas signifikant (Fig 4).



Figur 4. Koncentration av Cd i xylemsaft och apoplast i rötter hos 3 veckor gamla veteplantor. Plantorna är behandlade med Cd med eller utan Si. \*, signifikant skillnad mellan Cd och Cd+Si. n=5, ±SE.

Katjonutbyteskapaciteten (CEC) påverkas av kisel (Figur 5a-d). Kisel ökar CEC, särskilt i rot och skärmfjäll. Generellt är nettoökningen av CEC (omräknat till molmängd utbytesplatser) något större i roten än övriga delen av plantan. I kärnan ökar CEC i högre grad i hög-Cd-ackumulerande sorter (se Tjalve och Kosack i fig. 6c) med Si-behandling än i låg-Cd-ackumulerare (se Vinjett och Tarso i fig. 6c).



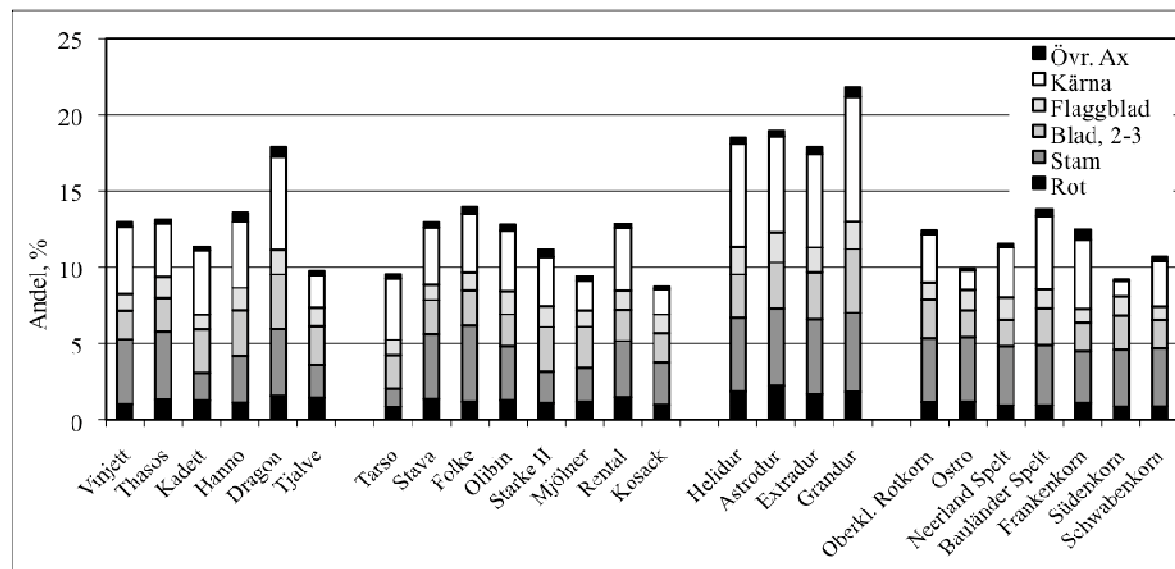
Figur 5a-d. CEC i olika vävnader i vete. Fyra sorter vete (Vinjett, Tjalve, Tarso, Kosack) odlades till full mognad. Ackumuleringsförmågan är låg i Vinjett och Tarso och hög i Tjalve och Kosack. n = 3, ±SE.

Metylering och polygalakturonsyra är ett sätt för växten att reglera mängden bindningsplatser i cellväggen. Ökade halter ger högre mängd bindningsplatser. Resultaten visar på en generell signifikant ökning av polygalakturonsyra (Tabell 3). Även metyleringen visar en ökning men är inte signifikant p.g.a. hög variation (Tabell 3). Även Cd ökar polygalakturonsyrhalten men till en mindre grad.

Tabell 3. Metylering och halt polygalakturonsyra i cellvägg i 3 veckor gamla veteplantor i rot och skott. Fyra sorter av durumvete och vårbrödvete med hög (H) eller låg (L) kadmiumackumuleringsförmåga i kärna. Tre olika behandlingar, 1 mM Si, 1 µM Cd, 1 mM Si + 1 µM Cd samt kontroll. n = 3 ±SE. \* = signifikant skild från kontroll.

	Metylering				Polygalakturonsyra			
	Kontroll mmol/g	Si mmol/g	Cd mmol/g	Cd+Si mmol/g	Kontroll mmol/g	Si mmol/g	Cd mmol/g	Cd+Si mmol/g
<b>Rot</b>								
Helidur (L)	0,58 ± 0,23	0,64 ± 0,01	0,64 ± 0,11	0,63 ± 0,19	1,31 ± 0,10	1,57 ± 0,07*	1,48 ± 0,07*	1,56 ± 0,09*
Grandur (H)	0,62 ± 0,12	0,66 ± 0,26	0,64 ± 0,04	0,62 ± 0,12	1,32 ± 0,05	1,55 ± 0,22*	1,43 ± 0,21	1,45 ± 0,17
Vinjett (L)	0,64 ± 0,04	0,65 ± 0,22	0,60 ± 0,08	0,66 ± 0,11	1,36 ± 0,03	1,44 ± 0,19	1,40 ± 0,13	1,56 ± 0,09*
Tjalve (H)	0,60 ± 0,04	0,68 ± 0,17	0,66 ± 0,1	0,69 ± 0,25	1,37 ± 0,18	1,48 ± 0,20	1,42 ± 0,02	1,43 ± 0,07
<b>Skott</b>								
Helidur (L)	0,52 ± 0,02	0,54 ± 0,03	0,54 ± 0,01	0,59 ± 0,18	1,30 ± 0,10	1,32 ± 0,05	1,30 ± 0,00	1,34 ± 0,19
Grandur (H)	0,48 ± 0,01	0,51 ± 0,01	0,51 ± 0,06	0,59 ± 0,21	1,20 ± 0,06	1,30 ± 0,18	1,21 ± 0,11	1,28 ± 0,12
Vinjett (L)	0,51 ± 0,19	0,56 ± 0,15	0,50 ± 0,12	0,54 ± 0,19	1,32 ± 0,03	1,37 ± 0,04	1,29 ± 0,04	1,33 ± 0,07
Tjalve (H)	0,47 ± 0,14	0,52 ± 0,18	0,54 ± 0,11	0,59 ± 0,01	1,23 ± 0,13	1,24 ± 0,10	1,24 ± 0,15	1,33 ± 0,17

Det totala antalet protein detekterade i alla protein-fraktionerna var fler än hundra (ej visat). Sammansättningen och halt av de olika proteinerna var mycket olika i de olika typerna av vete. Vissa proteiner detekterades i en vetetyp men inte i en annan. Kisel påverkade vanligen inte halterna av proteinerna, varken ökning eller minskning. Några proteiner som inte detekteras utan kiselbehandling kunde detekteras vid kiselbehandling. Dessa proteiner var dock olika i vårvete (3 st proteiner) och höstvete (2 st proteiner) och visade stor varians.



Figur 6. Fördelning av Si i veteplantan i olika sorter av vete. Vetesorterna är från vänster grupperade i vårvete, höstvete, durum och spelt. Inom varje grupp är sorterna arrangerade, från vänster, enligt låg till hög ackumuleringsförmåga av Cd i kärnan.

Upptag och fördelning av kisel är olika i de olika vetesorterna (Fig 6). Generellt visade durumvetesorterna c:a 25 % högre halter Si i plantan än övriga sorter. Vetesorternas Cd-ackumuleringsförmåga är inte relaterad till upptag och fördelning av kisel i plantan.

Fördelning av kisel i vetekärnan är mycket ojämn (Tabell 4). Pericarpvävnaden består till c:a 7 % av kisel medan endosperm består till mindre än 1 promille av Si. Skillnaderna i Si-halt mellan hög- och låg-Cd-ackumulerande vetesorter är generellt signifikant i alla kärndelar; Si-halten är högre i hög-Cd-ackumulerare. Omräknat till mängd kisel i de olika delarna av kärnan återfinns c:a, 2 % i pericarp, 6 % i aleuronskiktet, 92 % i endosperm och 0,1 % i kärnvävnad.

Tabell 4. Kisel som andel (%) av biomassan i de olika delarna av vetekärnan. Olika vetesorter med låg- och hög-ackumulering av Cd är indikerade med L resp. H. n = 3 ±SE. \* indikerar signifikant skillnad mellan hög och lågackumulerare.

		Pericarp	Aleuron	Endosperm	Kärlvävnad
Höstvete	Tarso (L)	6,55 ± 0,40	0,74 ± 0,01	0,073 ± 0,014	0,58 ± 0,07
	Kosack (H)	7,63 ± 0,32*	0,88 ± 0,06*	0,092 ± 0,013	0,60 ± 0,02
Vårvete	Vinjett (L)	6,35 ± 0,29	0,73 ± 0,11	0,058 ± 0,007	0,54 ± 0,05
	Tjalve (H)	7,76 ± 0,03*	0,91 ± 0,13	0,052 ± 0,012	0,57 ± 0,07
Durumvete	Helidur (L)	6,94 ± 0,12	0,57 ± 0,04	0,072 ± 0,014	0,50 ± 0,08
	Grandur (H)	7,35 ± 0,32	0,93 ± 0,03*	0,087 ± 0,013	0,55 ± 0,01

## Diskussion

### Kisels inverkan på jord.

Undersökningen visar att kisel påverkar Cd både i jord och i planta (Fig 1-2, Tab 1). I jorden minskar kisel kadmiums tillgänglighet, vilket i sin tur minskar kadmiumupptaget, även om kisel inte påverkar kadmiumupptaget direkt från jordvätskan (tidigare rapport). Kisels påverkan sker både som en pH-effekt och en effekt av Si på kadmiums tillgänglighet. Vilken kisel tillförsel som är optimal har visat sig bero på behandlingstid samt vilken vetesort som odlas. Men i nuläget verkar 160 mg kg<sup>-1</sup> extraherbar halt i jorden vara en optimal giva, vilket motsvarar 1,2 ton/ha Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> eller 959 kg/ha K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> på åkerbruksmark.

### Mekanismen bakom minskningen av kadmium i vetekärna.

Kisel minskar avståndet mellan rotspets och suberiniserade endodermis i roten, vilket betyder att en mindre mängd av det kadmium som tas upp transporteras till skottet (Tab 2). Även en ökad CEC i rötterna och i stammen pekar på att en större mängd kadmium hålls kvar i rötterna och i stammarna så att en mindre mängd når fröet (Figs 5a-d). Totalt sett visar CEC-data att mängden bindningsställen ökar med kisel i plantan, i högre grad i rötterna, vilket kan vara en delförklaring till att kisel påverkar fördelning av Cd i rot-skott. Dessutom ökar andelen bundet Cd till cellväggarna i rötterna, något som i sin tur kan förklaras med ökad halt polygalakturonsyra och möjligen ökad metylering i cellväggen (Tab 3).

Den apoplasmiska mängden Cd minskade med nästan 50 % vilket förklaras av att antalet bindningsställen ökar i cellväggen (och i viss mån även i cytosolen) vilket resulterar i minskad mängd fria Cd-joner (Fig 4). Att halten Cd i xylemet inte tycks påverkas av kisel är förvånande, möjligen minskas rörelsehastigheten av xylemetsaften av Si (pga minskad transpirationshastighet), vilket resulterar i minskad Cd transport till skottet. Alternativt inducerar kisel en ökad transport av Cd från skottet till roten, men detta är inte undersökt i denna studie.

### Inverkan på kadmium i kärnan.

Kisels lokalisering i vetekärnan är mycket olika i kärnans olika delar och dessutom olika i hög- och låg-Cd-ackumulerande vetesorter (Tab 4). I tidigare studier har vi konstaterat att högackumulerande vetesorter har en högre halt Cd i kärnans periferi. I denna studie har högackumulerande (jämfört med lågackumulerande) vetesorter högre halter av Si i kärnans periferi, vilken kan indikera ett samband. Det är dock oklart hur kisel påverkar uppbindningen av kadmium. Proteiner kunde vara en förklaring eftersom särskilt thiol-rika proteiner kan binda tungmetaller. Kisel påverkar dock inte halten av enskilda proteiner i denna studie, de små skillnader som kan observeras är inte signifikanta och är olika i höstvetete och vårvete. Några proteiner kunde detekteras endast vid kiselbehandling, dock olika proteiner i vårvete och höstvetete. Dessa proteiner påverkas dock inte i den andra vetetyper av kisel, dvs de proteiner som detekteras vid kiselbehandling i vårvete detekteras både i kontroll och kiselbehandling i höstvetete. Denna studie visar därför ingen signifikant roll av kisel för påverkan på proteinersammansättningen. Att kisel och Cd återfinns i periferin i högackumulerare kan bero på uppbindning av Cd i aleuronskiktet (dock inte till dess proteiner) orsakad av Si. Dock har inte Cd i kärnans periferi kunnat lokaliseras exakt på cellnivå.

En vetesorts potentiella upptag och fördelning av kisel innebär inte automatiskt en lägre halt Cd i kärnan (Fig 6), en vetesorts upptagningsförmåga (och fördelning) av kisel är inte relaterad till dess upptagningsförmåga av Cd. Hur plantan använder kisel och hur stor del av plantans kisel som påverkar Cd är olika i olika vetesorter. Mekanismen, att kisel ökar antalet bindningsställen och därmed påverkar fördelningen och mängden fria Cd-joner, påverkar troligen många processer i plantan, särskilt jontransport. Därför, för att utröna hur kisel påverkar Cd i plantan i enskilda vetesorter måste Cd-Si-studier göras på sorterna. Dock, denna studie visar att hög-Cd-ackumulerande vetesorter påverkas i högre grad av kisel.

Slutsatsen är att kisel minskar tillgängligheten av kadmium i jorden och transporten av kadmium till skottet, av det kadmium som tagits upp av växten. Orsaken till minskad transport är att kisel ökar mängden bindningsställen i roten samt att avståndet mellan rotspets och suberiniserad endodermisvävnad i roten minskar. Proteinsammansättningen påverkades inte i kärnan av kisel och är därför inte förklaring till ändrad mängd bindningsställen i kärnan. Vi fann att kisel tenderar att öka CEC till större grad i kärnan hos högackumulerare än hos lågackumulerare, trots att ackumuleringen av Cd i kärnan hos högackumulerare minskar med kisel (Fig. 5a-d). Den mest troliga orsaken till en minskning av kadmium i kärna hos vete är därför att transporten av kadmium till skottet minskar och har antagligen ingenting med uppbindning till proteiner i kärnan att göra.

## Referenser

- Ahmad R., Zaheer S.H. & Ismail S. 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Sci.*, 85: 43–50.
- Eriksson J, Stenberg B., Andersson A. and Andersson R. 2000. Tillståndet i svensk åkermark och spannmålsgröda. SNV rapport 5062.
- Etica, D., Stass, A., Horst, W.J. 2005. Cell-wall pectin and its degree of methylation in the maize root-apex: significance for genotypic differences in aluminium resistance. *Plant Cell Environ.* 28, 1410-1420.
- Fazio, S.A., Uhlinger, D.J., Parker, J.H., White, D.C. 1982. Estimation of uronic acids as quantitative measures of extracellular and cell wall polysaccharide polymers from environmental samples. *Applied Environ. Microbiology* 43, 1151-1159.
- Hammerschmidt, R. 2004. Induced resistance: Mechanisms and practical applications. In: "*Fungal Disease Resistance in Plants: Biochemistry, Molecular Biology, and Genetic Engineering*" S.K. Punja, editor.
- Hellstrand, S. Landner, L. 1998. Cadmium in fertilisers, soil, crops and food – the Swedish situation. In *Cadmium exposure in the Swedish environment*. KEMI report
- Hodson, MJ, Evans, DE, 1995. Aluminium-silicon interactions in higher plants. *J. Exp. Bot.* 46: 161-171.



- Höhn, H, Sommer, M, Kaczorek, D, Schalitz G, Breuer, J. 2008 Silicon fractions in Histosols and Gleysols of a temperate grassland site. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 409–418
- Kabala, C. and Singh, B. R., (2001). Fractionation and Mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *J. Environ. Qual.*, 30, 485-492.
- Kupfer C., Kahnt, G. 1992. Effects of the application of amorphous silica on transpiration and photosynthesis of soybean plants under varied soil and relative air humidity conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 168: 318-325.
- Loohart G, Bean S. 1995. Separation and Characterization of Wheat protein fractions by high performance liquid chromatography. *Anal. Techniques and instrumentation*, 72(6): 527-532.
- Lopez-Millan AF, Morales F, Abadia A, Abadia J. 2000. Effects of iron deficiency on the composition of the leaf apoplastic fluid and xylem sap in sugar beet. Implications for iron and carbon transport. *Plant Physiology* 124: 873-884.
- Lozano-Rodríguez E, Hernández LE, Bonay P, Carpena-Ruiz RO. 1997. Distribution of cadmium in shoot and root tissues of maize and pea plants: physiological disturbances. *Journal of Experimental Botany* 48: 123-128.
- Nordberg, G. 1996. Human cadmium exposure in the general environment and related health risks a review. In: *Proceedings of sources of cadmium in the environment*. Organization for economic Co-operation and Development, Paris, pp.95-104.
- Osborne T.B. 1907. *The proteins of the wheat kernel*. Carnegie Inst. Washington DC.
- Spearing, A.M. 1972. Cat-ion capacity and galacturonic acid content of several species of Sphagnum in Sandy Ridge Bog, central New York. *Am. Bryological Lichenological Society.* 75, 154-158.
- Tessier, A., Campbell, P. G. C., Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51, 844–851.

## **Publikationer**

I nuläget håller vi på att skriva ett antal arbeten för publicering i vetenskapliga tidskrifter. Dock kan vi ännu bara presentera titlarna på manuskripten. Under dessa arbeten finns abstract från kongresser, symposium samt workshops, varav en keynote.

Eftersom projektledaren, M. Greger, är delegat i COST programmet FA905 som handlar om att minska kadmiumhalten i jordbruksgröda och där 27 länder ingår, så har data från undersökningen presenterats på ett antal möten (Abstrakt) i detta COST program och därför vunnit Europeisk spridning.

Projektledaren har deltagit i den internationella kongressen om “silicon in agriculture”, nu senast i Kina. Denna kongress var den femte och vi har lyckats att få ta hand om den sjätte kongressen 2014, tack vare våra intressanta data och framstående forskning. Detta har även givit Internationell spridning och vi kan räkna oss till en av de 3 forskargrupperna i Europa som arbetar helhjärtat med detta ämnesområde.

Gästforskning: Arbetet har sampublicerats med de två lab (Prof. Alexander Lux, Comenius Universitet I Bratislava, Slovakien, expert på växtanatomi, samt Prof. Bal Ram Singh, UMB, Ås i Norge, jordforskare), där M. Greger gästforskade under 5 månader.

## **Manuskript**

- Landberg T., & Greger M. 2012. Silicon influence on Cd in grains of various wheat types and varieties. Manuscript
- Greger M. & Lux A. 2012. Possible mechanisms how Si decreases Cd concentration in wheat shoot. Manuscript
- Greger M. & Landberg T., 2012. Accumulation pathways of silicon on tissue level in maize, wheat and rice. Manuscript.
- Greger M., Singh B. R., Almås Å. & Landberg T., 2012. Influence of silicon on cadmium availability in sandy agricultural soil. Manuscript.

### **Abstrakt**

- Greger M. & Landberg T. 2008. Influence of silicon on Cd content in and effect on wheat. —Abstract. Challenges on improving quality and safety of food crops, COST Action 859 workshop, Lillehammer, September 2008.
- Greger M. & Landberg T. 2008. Influence of silicon on cadmium in wheat. — Abstract. 4<sup>th</sup> Int. conf. on Silicon in agriculture, West coast sun, South Africa, October 2008.
- Greger M. & Landberg T. 2009. Silicon effect on cadmium distribution in wheat tissue. — Abstract. COST Action 859 workshop, Szeged, Hungary, April 2009.
- Greger M. & Lux A. 2009. Mechanisms behind decrease by Si of Cd content in wheat shoot. — Abstract. COST Action 859 workshop, Ascona, Switzerland, October 2009.
- Landberg T. & Greger M. 2011. Silicon in Biofortification of Crop Plants – Influences on Nutrients and Toxic Elements, — Abstract. ICOBTE, 11th Int. Congress on Biogeochemistry of Trace Elements, Florence, Italy, July. 2011.
- Greger M., Landberg T., Lux A. & Singh B. R. 2011. Influence of Si on Cd uptake and accumulation in wheat. —Abstract. 5<sup>th</sup> Int. conf. on Silicon in agriculture, Beijing, China, September 2011.
- Landberg T. & Greger M. 2011. Localization of Si on tissue level in rice, maize and wheat. — Abstract. 5<sup>th</sup> Int. conf. on Silicon in agriculture, Beijing, China, September 2011.
- Greger M. 2011. How to influence the Cd content in food crops. — Abstract. **Keynote**. COST Action FA905 workshop, Venice, Italy, November 2011.

### **Övrig resultatförmedling till näringen**

Tanken var att vi skulle ha gått ut på bred front till näringen (odlare framförallt) och redovisa resultat samt gett råd avseende kiseltilförsel. Men eftersom vi funnit att Zn halten minskar samtidigt med Cd i kärnan och genom detta förstått att vi måste veta hur kisel även påverkar näringsupptaget i vetet så vill vi vänta med någon form av råd tills vi sett ut effekten på mineralnäringsupptagningen. Tyvärr har vi ännu inte erhållit några medel från SLF eller FORMAS för en sådan undersökning. Därför väntar vi med att gå ut med resultaten till näringen tills vi även har sådana data och kan ge råd om hur man eventuellt handskas med förändring i näringsupptagningen.