

Rening av åkermark från kadmium med *Salix* för minskning av kadmium i vete

Maria Greger och Tommy Landberg, Botaniska institutionen, 106 91 Stockholm.

Inledning

Kadmium (Cd) i låga halter är skadligt och är allmänt känt som en hälsofara. I Sverige härrör 43 % av Cd-intaget från vete och det är därför väsentligt att få ner Cd-halten i vetekorn. Detta kan åstadkommas genom att rena marken från kadmium. Att göra detta med vanlig teknik är emellertid orealistiskt kostsamt speciellt då det rör sig om stora arealer och relativt låga kadmiumnivåer. Men med hjälp av *Salix*kloner, som är bra på att ta upp kadmium och på så sätt renar marken (s.k. fytoextraktion), är det fullt möjligt. Då erhålls också en värdefull biomassa, som kan användas för energiproduktion. Vi har tidigare visat att åkermarkens totala kadmiumhalt kan minskas med 38% på 3 år om en bra *Salix*klon används. Åkermarker i Sverige är inte exceptionellt Cd-kontaminerade och torde därför vara särskilt lämpade för fytoextraktion under en begränsad tid.

Denna studie är ett fältförsök med målet att ta reda på hur lång fytoextraktionstid som kan behövas innan vete odlas för att uppnå en minskad Cd-halt i vetekärna. Dessutom tar försöket reda på om fytoextraktion kan ge en långsiktigt hållbar effekt.

För att svara på frågan har vi utfört följande fältförsök:

- 1) Brunnby gård i Västerås; i lerjord, där vi har följt *Salix*odling under 1 - 4 år med efterföljande odling av vete och undersökt förändringen i framförallt jordens och vetets kadmiumnivåer. *Salix* har odlats i två planteringstätheter.
- 2) Torslunda fältstation på Öland: där vi odlat *Salix* under 2 - 4 år i sandjord och därefter odlat vete och undersökt förändringen i framförallt jordens och vetets kadmiumnivåer. *Salix* har odlats i två planteringstätheter.

Material och metodik

Allmänt

Växtmaterial

Salix viminalis klon 78198 har använts då den i fältförsök har visat sig vara en klon med bra etableringsförmåga, biomassaproduktion och kadmiumupptagning och markrening från kadmium och andra tungmetaller. *Salix* planterades i rutor och varje ruta delades in i 2 halvor där den ena halvan planterades med låg planteringsdensitet (9 plantor per m²) och den andra halvan med hög planteringsdensitet (25 plantor per m²). Planteringsdensiteten har tidigare visat sig vara viktig för markreningshastigheten.

Triticum aestivum, vårvete var Vinjett och höstvete var Olivin, har använts på båda platserna.

Provrutor

Varje provruta var indelad i 2 delar (s.k. delrutor), en med låg och en med hög planteringsdensitet av *Salix*, (även kontrollrutor och rutor där enbart vete odlats delades på två delrutor på samma sätt). På Brunnby gård fanns 4 upprepningar (rutor) av varje provruta. På Torslunda togs 3 replikat från varje delruta.

Provtagning och analys

Jordprover insamlades innan vete såddes för att erhålla startdata. Tre jordprover insamlades (25-30 cm djupt) från varje delruta och slogs sedan samman till ett generalprov per delruta, på Torslunda togs veteprover på samma sätt som jordproverna. 20 stycken veteax per halvruta insamlades och lades samman till ett generalprov, på Torslunda togs veteprover på samma sätt som jordproverna.

Vid uppbrytning av *Salix* togs 4 representativa plantor för analys av Cd. Plantorna delades upp i rot, stam, stol och blad, vägdes och sköljdes och analyserades på Cd. Biomassaproduktion av *Salix* per ha räknades ut på basis av dessa 4 plantor och det totala antalet plantor, som räknades.

Kadmium analyserades i jorden som total (HNO_3) och "tillgänglig" (NH_4Ac) halt, i vetekärnor samt rot, stam, stam och blad hos *Salix*. Analyserna utfördes på en atomabsorptionsspektrofotometer (Varian SpectrAA 100) på flamma eller ugn (Varian, GTA 100).

Brunnbyförsöket

Undersökningen har förlagts till Hushållningssällskapets (numera HS-konsults) gård i Brunnby i Västerås, vilka också hjälpt oss med det odlingstekniska. Gården har under många år odlat både *Salix* och höstvet. Jorden är en typisk Mälardalslerjord. Försöket lades ut 2005 i 16 rutor á 2,5 x 2,5 m. Försöket bestod av 4 upprepningar och 4 led enligt nedan (Tab 1). Vete odlades enligt standardteknik och tidsschema. Höstvet odlades under 2005-2009 och vårvete odlades 2009-2010. Vete för sådd erhöles från Brunnby Gård.

Tabell 1. Försöksupplägget vid Brunnby.

	Vete ruta	<i>Salix</i> ruta 1	<i>Salix</i> ruta 2	<i>Salix</i> ruta 3
2005	Vete sås	<i>Salix</i> sättes	<i>Salix</i> sättes	<i>Salix</i> sättes
2006	Vete skördas/ sås	<i>Salix</i> skördas/ Vete sås	<i>Salix</i>	<i>Salix</i>
2007	Vete skördas/ sås	Vete skördas/ sås	<i>Salix</i> skördas/ Vete sås	<i>Salix</i>
2008	Vete skördas/ sås	Vete skördas/ sås	Vete skördas/ sås	<i>Salix</i>
2009	Vete skördas/sås	Vete skördas/sås	Vete skördas/sås	<i>Salix</i> skördas/Vete sås
2010	Vete skördas	Vete skördas	Vete skördas	Vete skördas

Salix-biomassan vägdes efter skörd. Efter skörd frästes resterande *Salix*stolar ner i jorden innan vete såddes.

Torslundaförsöket

Undersökningen var förlagd till SLU:s försöksstation i Torslunda på Öland nära Färjestad, vilka också hjälpt oss med det odlingstekniska. Jorden är en typisk sandjord. *Salix viminalis*, klon 78198 planterades 2005, samtidigt med planteringen på Brunnby gård, dock av andra orsaker. Jorden gödslades 2005 med färsk rödalger. Plantering skedde i 4 rutor om 6x5 m, Därtill kom två kontrollrutor.

Salix bröts upp och stolarna avlägsnades helt i augusti 2007 och i september 2008 i vardera av två av *Salix*rutorna varefter ytan (samt kontrollryta) såddes med vete. Den tredje och fjärde

*Salix*rutan bröts upp och stolar avlägsnades september 2009. Sista odlingen och analys av vete genomfördes 2010. 2007-2008 odlades höstvet (var Olivin) och åren 2009-2010 odlades vårvete (var Vinjett). Vete för sådd erhöles från Brunnby Gård, samma som användes i Brunnbyförsöket.

Tabell 2. Försöksupplägget i Torslunda.

	Vete ruta	Salix ruta 1	Salix ruta 2	Salix ruta 3 och 4
2005	Ingen åtgärd	Salix sättes	Salix sättes	Salix sättes
2007	Vete sås	Salix skördas/ Vete sås	Salix	Salix
2008	Vete skördas/ sås	Vete skördas/ sås	Salix skördas/ Vete/sås	Salix
2009	Vete skördas/ sås	Vete skördas/ sås	Vete skördas/ sås	Salix skördas/Vete sås
2010	Vete skördas	Vete skördas	Vete skördas	Vete skördas

Efter skörd grävdes resterande *Salix*stolar bort innan vete såddes.

Resultat

Brunnbyförsöket

Salix växte första året till en höjd av 60 cm, 2006, vilket antogs bero på den styva lerjorden. Under 2007 växte *Salix*plantorna på Brunnby gård till ca 2 meters höjd, som emellertid råkade ut för avbetning, vilket resulterade i att ca hälften av skotten blev 1 meter höga i vissa rutor. Stängsel sattes därför upp under hösten 2007. Under 2008 nådde dessa *Salix*plantor en höjd på 1,5 – 2 m beroende på avbetningen. Under 2009 var höjden 2-2,5 m och stammarnas diameter var 25 – 35 mm vid basen.

Kadmiumhalten i jorden minskade för varje år i de rutor som *Salix* odlades, både totalhalt och biotillgänglig halt. Minskningen av totalhalten var 19,4 % resp. 24,7 % i rutor med låg resp. hög *Salix*-densitet under 4 år och biotillgänglig halt 22,8 % resp. 24,9 % i låg resp. hög densitet (Tab. 3 & 4). Skillnaden mellan låg och hög *Salix*-densitet är signifikant de första åren men skillnaden blir mindre med tiden.

Tabell 3. Total kadmiumhalt i jorden (mg kg^{-1}) 2010 efter odling med *Salix* odlad olika länge i hög resp. låg densitet. $n=4 \pm \text{SE}$

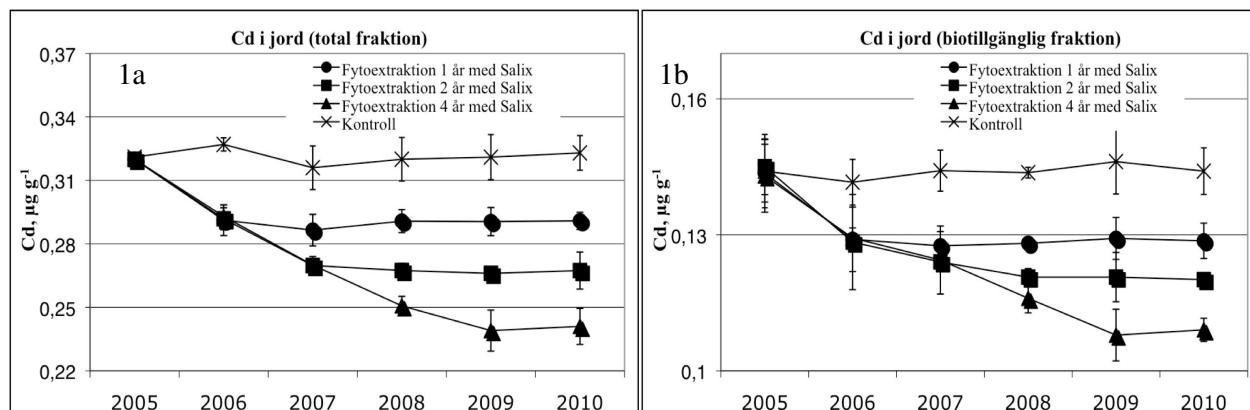
År med <i>Salix</i>	Lågdensitet mg kg^{-1}	Förändring med <i>Salix</i> %	Högdensitet mg kg^{-1}	Förändring med <i>Salix</i> %
Ingen <i>Salix</i>	$0,320 \pm 0,005$		$0,318 \pm 0,005$	
1 år	$0,306 \pm 0,001$	4,4	$0,298 \pm 0,001$	6,3
2 år	$0,290 \pm 0,006$	9,4	$0,267 \pm 0,006$	16,0
4 år	$0,258 \pm 0,009$	19,4	$0,241 \pm 0,009$	24,7

Tabell 4. Biotillgänglig kadmiumhalt i jorden (mg kg^{-1}) 2010 efter odling med *Salix* odlad olika länge i hög resp. låg densitet. $n=4 \pm \text{SE}$

År med <i>Salix</i>	Lågdensitet	Förändring med <i>Salix</i>	Högdensitet	Förändring med <i>Salix</i>
---------------------	-------------	--------------------------------	-------------	--------------------------------

		%		%
Ingen Salix	0,145 ± 0,014		0,144 ± 0,010	
1 år	0,136 ± 0,009	6,2	0,129 ± 0,008	10,4
2 år	0,124 ± 0,011	14,5	0,120 ± 0,017	16,7
4 år	0,112 ± 0,014	22,8	0,109 ± 0,009	24,9

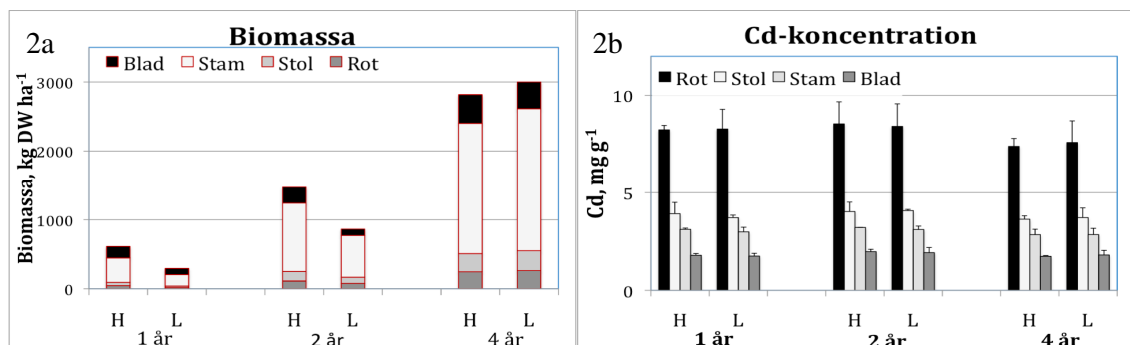
Efter *Salix*-skörd var Cd-koncentrationen i jorden, både total och biotillgänglig halt, stabil genom de följande åren både mätt som totalhalt (Figur 1a) och biotillgänglig halt (Figur 1b), d.v.s. halten kadmium är stabil och återgår inte till ursprungsnivån.



Figur 1a och 1b. Koncentration av Cd i jord (total halt, fig 1a, biotillgänglig halt fig 1b) i Brunnby olika år. *Salix* har odlats i hög densitet och skördats efter 1 år (markerat med cirkel), 2 år (markerat med kvadrat) och 4 år (markerat med triangel). $n=4 \pm SE$.

Salix tillväxt påverkades kraftigt av olika faktorer under försökets gång, som avbetning och ogräs, därför är biomassan betydligt lägre än väntat. Tillväxten var högre i rutor med hög plantdensitet de första åren vartefter lågdensitetsrutorna ”kom ikapp” de senare åren (Fig 2a). Störst andel biomassa fanns i stammarna.

Kadmiumkoncentrationen varierade mycket lite från år till år och var högst i roten. Ingen skillnad kunde observeras mellan hög och låg planteringsdensitet (Fig 2b).



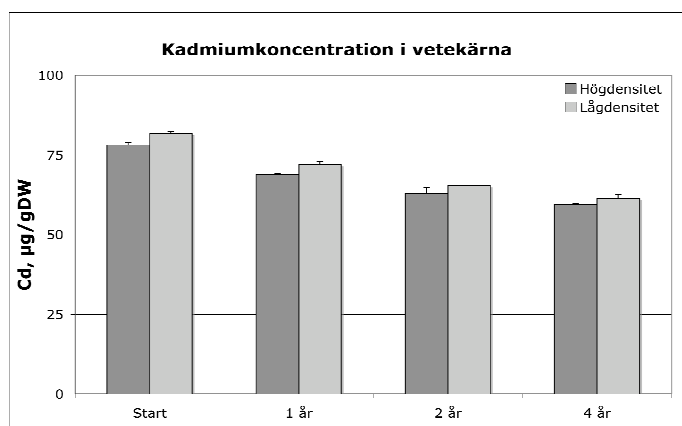
Figur 2a, 2b. Biomassa (kg per hektar) i olika delar av plantan av *Salix* odlad med hög (H) eller låg (L) plant densitet under olika lång tids odling (Fig 2a). Cd-koncentration i olika delar av *Salix* plantor odlade i hög (H) eller låg (L) plantdensitet (Fig 2b). $\pm SE$.

Biomassan hos vetekärnor per planta påverkades inte av föroddlingen av *Salix* (Tabell 5).

Tabell 5. Vikt av vetekärnor per planta efter olika tid med föroddling med *Salix*. $n=4 \pm SE$

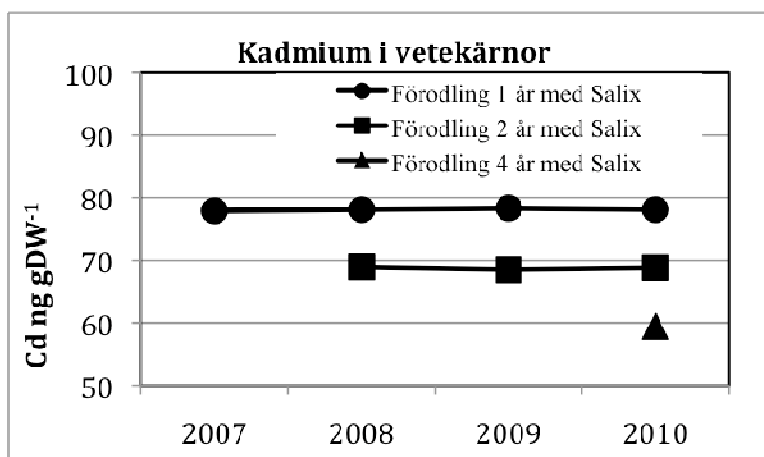
År med <i>Salix</i>	Lågdensitet	Högdensitet
Ingen <i>Salix</i>	$2,165 \pm 0,151$	$2,155 \pm 0,096$
1 år	$2,098 \pm 0,122$	$2,101 \pm 0,147$
2 år	$2,124 \pm 0,153$	$2,138 \pm 0,116$
4 år	$2,104 \pm 0,068$	$2,140 \pm 0,102$

Kadmiumhalten i vetekorn odlade i Brunnby visade på en signifikant lägre nivå när de odlats efter *Salix* och där finns en tendens till ännu lägre nivå där *Salix*-tätheten varit hög jämfört med låg, dock inte signifikant (Fig. 3). Minskningen i vårvete efter 4 års odling av *Salix* är 21 – 23 %. Minskningen i höstvete var 9 - 12 % efter 2 års odling av *Salix* (ej visat).



Figur 3. Kadmium i vetekärnor (vårvete) i Brunnby 2010, odlade utan föroddling med *Salix* samt efter föroddling 1 år, 2 år och 4 år med *Salix*. *Salix* odlades med 2 olika planteringstätheter (hög och låg densitet).

Cd-koncentrationen i vetekärnor är stabil under de följande åren (Fig 4) efter *Salix*odling.



Figur 4. Koncentration av Cd i vetekärnor i Brunnby olika år. *Salix* har odlats med hög densitet och skördats efter 1 år (markerat med cirkel) och 2 år (markerat med kvadrat) eller 4 år (markerat med triangel) $n=4 \pm SE$.

Torslundaförsöket

Tillväxten av *Salix*-plantorna var god/normal. Innan plantering av *Salix* gödslades marken med färsk rödalger (för ett annat försök). Vid slutlig skörd hade plantorna en höjd på 4-5 m med en stamdiameter på upp till 80 mm vid basen. En tydlig skillnad kunde observeras mellan plantor odlade med låg planttäthet och hög täthet, stammar och rötter var i regel dubbelt så kraftiga hos lågdensitet-plantor, dock var skillnaden i höjd liten.

Kadmiumhalten i jorden minskade för varje år i de rutor som *Salix* odlades, både totalhalt och biotillgänglig halt. Minskningen av totalhalten var 14,3 och 17,3 % i rutor med låg resp. hög *Salix*-densitet under 4 år och 31,9 % resp. 34,1 % i låg resp. hög densitet (Tab. 6 & 7). Skillnaden mellan låg och hög *Salix*-densitet är signifikant de första åren men skillnaden blir mindre med tiden.

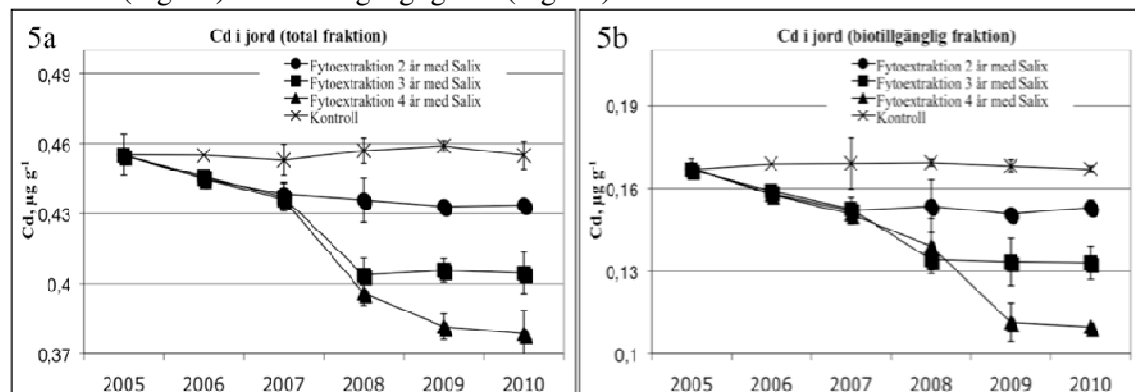
Tabell 6. Total kadmiumhalt i jorden efter odling med *Salix* planterade i hög resp. låg densitet. $n=4 \pm SE$

År med <i>Salix</i>	Lågdensitet	% förändring med <i>Salix</i>	Högdensitet	% förändring med <i>Salix</i>
Ingen <i>Salix</i>	0,454 $\pm$ 0,010		0,451 $\pm$ 0,017	
2 år	0,434 $\pm$ 0,001	4,4	0,441 $\pm$ 0,003	2,2
3 år	0,405 $\pm$ 0,013	10,8	0,391 $\pm$ 0,011	13,3
4 år	0,389 $\pm$ 0,018	14,3	0,372 $\pm$ 0,003	17,3

Tabell 7. Biotillgänglig kadmiumhalt i jorden efter odling med *Salix* planterade i hög resp. låg densitet. $n=4 \pm SE$

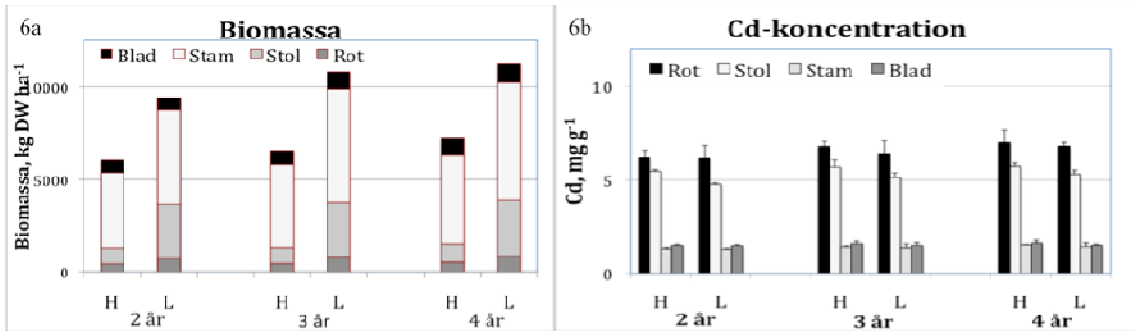
År med <i>Salix</i>	Lågdensitet	% förändring med <i>Salix</i>	Högdensitet	% förändring med <i>Salix</i>
Ingen <i>Salix</i>	0,166 $\pm$ 0,019		0,167 $\pm$ 0,014	
2 år	0,149 $\pm$ 0,012	10,2	0,153 $\pm$ 0,022	8,4
3 år	0,131 $\pm$ 0,017	21,1	0,133 $\pm$ 0,006	20,4
4 år	0,113 $\pm$ 0,010	31,9	0,110 $\pm$ 0,020	34,1

Efter odling av *Salix* håller kadmiumhalten en konstant oförändrad låg nivå följande år både total halt (Fig. 5a) och biotillgänglig halt (Fig. 5b).



Figur 5a och 5b. Koncentration av Cd i jord (total halt fig 6a och biotillgänglig halt 6b) i Torslunda olika år. *Salix* har odlats i hög densitet och skördats efter 2 år (markerat med cirkel), 3 år (markerat med kvadrat i figur) och 4 år (markerat med triangel i figur). $n=4 \pm SE$

Biomassaproduktionen kan anses normal för *Salix*. Biomassan är betydligt kraftigare vid låg planteringsstäthet, ”stolen” har utvecklats särskilt kraftigt (Fig 6a). Kadmiumkoncentrationen varierade mycket lite från år till år och var högst i roten (Fig 6b). Notera den relativt höga koncentrationen i plantans ”stol-del”. Notera även att koncentrationerna är något lägre i *Salix* jämfört med de odlade i Brunnby trots en högre Cd-halt i jorden. Ingen skillnad kunde observeras mellan hög och låg planteringsdensitet.



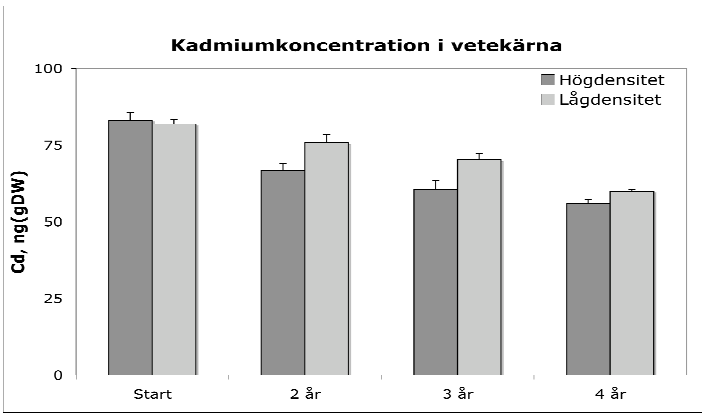
Figur 6a och 6b. Biomassa (kg per hektar) i olika delar av plantan av *Salix* odlad med hög (H) eller låg (L) planteringsdensitet under olika lång tids odling (Fig 6b). Cd-koncentration i olika delar av *Salix* plantor odlade i hög (H) eller låg (L) planteringsdensitet (Fig 6b). $\pm SE$

Biomassan hos vetekärnor (per planta) påverkades inte av förödling med *Salix* (Tabell 8).

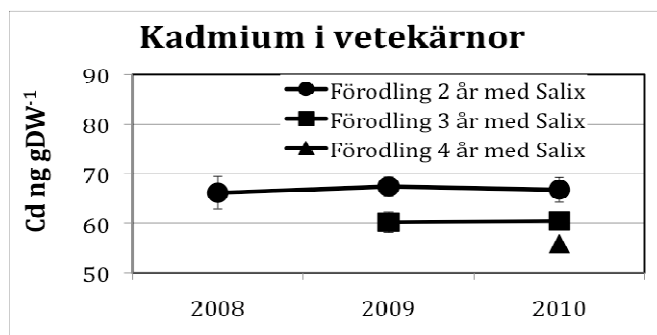
Tabell 8. Vikt av vetekärna per planta efter olika tid med förödling med *Salix*. $n=4 \pm SE$

År med <i>Salix</i>	Lågdensitet	Högdensitet
Ingen <i>Salix</i>	2,288 $\pm$ 0,077	2,249 $\pm$ 0,138
2 år	2,316 $\pm$ 0,118	2,259 $\pm$ 0,016
3 år	2,256 $\pm$ 0,174	2,306 $\pm$ 0,120
4 år	2,264 $\pm$ 0,143	2,263 $\pm$ 0,146

Kadmiumhalten i kärna minskar signifikant med 32 % på de ytor där *Salix* förödlats 4 år i hög densitet. Minskningen på lågdensitetsytan är 28 % (Figur 7). Minskningen i höstvetete var 11 – 13 % efter 2 års odling av *Salix* (ej visat).

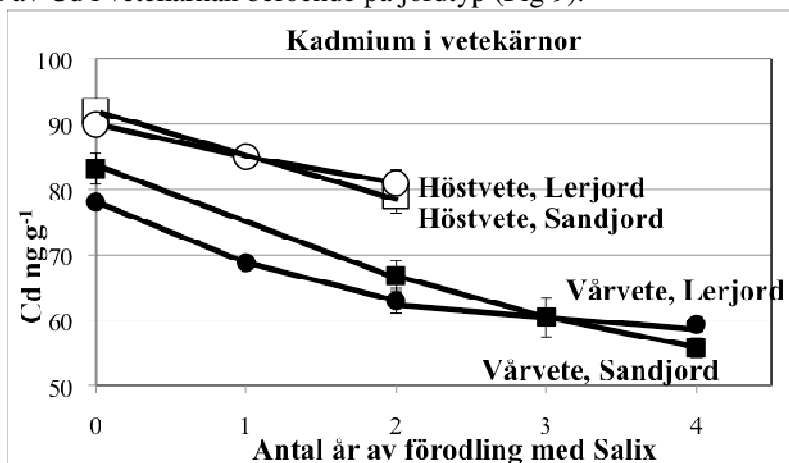


Figur 7. Kadmium i vetekärnor (vårvete) i Torslunda 2010, odlade utan förödling med Salix samt efter förödling 2, 3 och 4 år med Salix. Salix odlades med 2 olika planteringstätheter (hög och låg densitet)



Figur 8. Koncentration av Cd i vetekärnor i Torslunda olika år. Salix har odlats med hög densitet och skördats efter 2 år (markerat med cirkel i figur) och 3 år (markerat med kvadrat i figur) eller 4 år (markerat med triangel i figur) $n=4 \pm SE$.

Minskningen av Cd i vetekärnorna visade samma mönster och lika stor minskning per år räknat, höstvetete hade dock en högre halt än vårvete (Fig 9). Rening av mark visade liten eller ingen skillnad av Cd i vetekärnan beroende på jordtyp (Fig 9).



Figur 9. Halt kadmium i vetekärnor av vårvete (fylld markering) och höstvetete (ofylld markering) odlade i Brunnby (lerjord; cirkelmarkering) och Torslunda (sandjord; kvadratmarkering). Jorden har förödlats med Salix (hög densitet) 0 – 4 år. $\pm SE$

Diskussion

Resultaten visar att den totala Cd-halten i jorden minskar med föroddling av *Salix* med 17,5-24% på 4 år beroende på jordart och planteringsdensitet (Tabell 3-4). Även poolen av biotillgängligt Cd minskar, ofta något mer än totala halten (upp till 34%; Tabell 6-7). Minskningarna är signifikanta. Hög odlingsdensitet av *Salix* ger en snabbare minskning av Cd i marken, vilket torde bero på en bättre täckning med rötter i marken (Tabell 3, 6). Den lägre odlingsdensiteten är dock mer optimal för hög biomassatillväxt hos *Salix*plantan (Fig 6b). Den minskade halten av Cd i marken håller sig stabil på en konstant nivå efter *Salix*odlingen, vilket indikerar att jorden verkligen töms på Cd med tiden vid *Salix*odling (Fig 1, 5). Den konstanta nivån pekar också på att den lättrorliga polen av Cd i jorden inte ökar.

*Salix*plantorna visade ganska olika tillväxt och Cd-upptag/fördelning i de två olika jordtyperna (sandjord och lerjord; Fig 2,6). Olika klimatzoner och olika omständigheter har betydelse, men det är tydligt att för bästa reningseffekt bör ”stol” och huvuddelen av rötterna tas bort vid slutlig skörd. Detta är görligt, speciellt om *Salix*stolarna inte blivit för stora. Emellertid visade försöken att det går att fräsa ner Salixen utan att det blev större förändring av kadmiumnivån i vete, troligtvis är Cd så hårt bundet i cellväggarna i växtmaterialet, som sedan blir till humus, och till humus så att detta Cd inte frisätts till någon större grad för upptag i vete. Vanligen skördas skott-delen av *Salix* (periodiskt var 3-4 år), vilket i Brunnby ger en Cd-bortförsel av 6 g ha⁻¹ Cd och 9 g ha⁻¹ Cd i Torslunda per skörd. Därtill kan blad tas omhand, vilket bortför ytterligare 2,5 g ha⁻¹ Cd i Brunnby och 6 g ha⁻¹ Cd i Torslunda. Dock visar försöken att vid slutlig skörd, när även stol och rötter skördas, tas 30 – 60 % av den totala mängden Cd upp, vilket i denna undersökning motsvara bortförsel av 10 g ha⁻¹ Cd (Brunnby) och 24 g ha⁻¹ Cd (Torslunda) vid total skörd av *Salix*. Notera att biomassatillväxten var låg i Brunnby (Fig 2a, 6a), så siffran för Brunnby är troligen högre vid normal biomassatillväxt.

Minskningen av Cd i vetekärnan är mycket tydlig och data ger ingen indikation på att denna minskning skulle vara tillfällig (Fig 3, 4, 7, 8). Minskningen av Cd i vetekärnor är proportionellt större (per år räknat) i Torslunda på högdensitetsodlad mark jämfört med Brunnby (Fig 3, 7). Detta kan bero på en betydligt kraftigare biomassatillväxt av *Salix* i Torslunda och/eller jordarternas olika egenskaper t.ex. att lera binder Cd hårdare. Biomassan hos vetekärnorna påverkas inte av föroddlingen av *Salix* och inga visuella effekter kunde observeras vilket tyder på låg påverkan av jordens egenskaper av *Salix*odling (Tabell 5, 8). Tilläggas bör att det inte var någon skillnad i effekt om vår eller höstvete odlades (Fig 9).

Den slutsats vi kan dra är att *Salix* på kort tid kan få ner kadmiumhalterna både i jord och efterföljande grödor. Redan efter 2 års *Salix*odling får vi ner Cd halten i vete med 8%. Små skillnader finns beroende på de *Salix*sorter (och vetesorter) som används och jordmån. Minskningen av Cd i marken är permanent och håller i sig efter *Salix*odlingen samtidigt som biomassaproduktionen på efterföljande grödor bibehålls.

För att få bra avkastning av vete bör växelbruk användas. Därför skulle det vara gynnsamt att odla omväxlande *Salix* och vete. Detta skulle ge en bra veteskörd, lätt att skörda *Salix* med rötterna, samt få ner kadmiumhalten i veteodlingen.