



ALNARP

Fosfor – återföring från avlopp till åker med slagg

SIRI CASPERSEN, INSTITUTIONEN FÖR BIOSYSTEM OCH TEKNOLOGI, SLU

CLARA HERMANSSON, ALNARP CLEANWATER

Fosfor är ett viktigt växtnäringsämne som är helt avgörande för tillväxt och skörd. Inom en överskådlig framtid kommer det att bli brist på fosfor. Samtidigt orsakar fosfor övergödning om den hamnar i känsliga vattendrag. Enskilda avlopp är en av källorna till övergödning, men de kan också ses som en potentiell fosforkälla. I ett krukförsök har vi undersökt om avloppsbehandlad slagg från stålproduktion kan användas som gödselmedel, samt hur slagen påverkar växternas upptag av olika mineralämnen.

Bakgrund

Enskilda avlopp är oftast belägna i närheten av jordbruksmark. Genom att ta fosfor från avloppen och återföra den till åkermark sluts loopen och skapar ett hållbart lokalt kretslopp av fosfor. Ett sätt att göra det på är att använda kalk för att fånga upp fosfor i avloppsvattnet. Denna metod använder sig bl a Alnarp Cleanwater av. Alnarp Cleanwater har utvecklat ett bioreningsverk för enskilda avlopp. Huvudreningssteget (se bild 1) kan liknas vid en kompakt våtmark där mikroorganismer och växter tar hand om organiskt material, kväve och en del fosfor. Vid hög skyddsnivå (detta beslutas av kommunerna beroende på var anläggningen är belägen) kompletterar man med ett reningssteg bestående av ett värmebehandlat kalkmaterial för adsorption av fosfor, detta för att nå upp till kravet på 90% fosforrening. När materialets adsorptionsförmåga reducerats byts det ut och sprids på åkermark för att få tillbaka fosfor till näringskretsloppet. Kalkmaterial bryts i gruvor i Polen och värmebehandlas för att vara stabilt – detta medför en viss miljöpåverkan. Miljömässigt skulle det vara mer önskvärt att använda ett restmaterial istället för ett jungfruligt.

I projektet MINRENT har forskargrupper vid LTU och KTH tillsammans med stålindustrin visat att många slaggar (ett

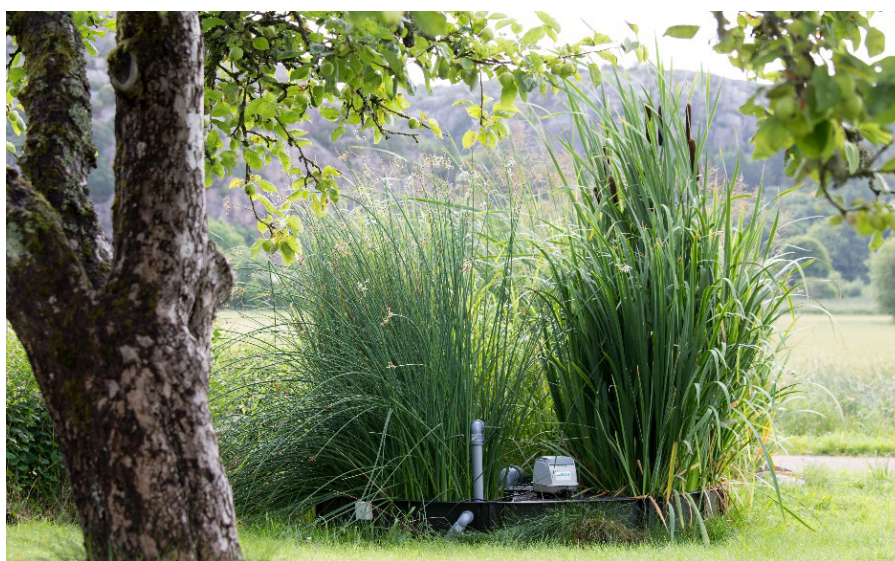


Bild 1. Bioreningsverk för avloppsrening

restmaterial från ståltillverkning) från svenska stålverk kan användas till vattenrening. Slaggen innehåller till största del kalciumoxid, järnoxid och kiseloxid. Den höga halten kalciumoxid ger en hög adsorptionsförmåga av fosfor. Som en del i MINRENT-projektet har Alnarp Cleanwater testat att byta ut det jungfruliga kalkmaterialet mot en slagg från Höganäs AB för att ta upp fosfor. Över 90% fosforrening uppnåddes, vilket motsvarar kraven som miljökontoren ställer vid hög skyddsnivå för enskilda avlopp (Havs- och vattenmyndigheten 2016).

Nästa steg är att undersöka om fosfor i den avloppsbehandlade slaggen kan återföras till åkermark på ett säkert sätt. I det projekt som redovisas här har fosforbemängd slagg från sista delen av avloppsreningen (Bild 2) testats som gödselmedel för vårvete i ett krukförsök i Biotronen vid SLU-Alnarp.

Syftet med projektet är att med ett restmaterial sluta fosfors kretslopp och dessutom minska risken för övergödning av vattendrag.

Metod

Slaggen

Den slagg som testades var en restprodukt från Höganäs Sweden AB. Den består till största del av kalciumoxid (ca 40%), järnoxid och kiseloxid. Det är vanliga beståndsdelar i svenskt berg. Slaggen har behandlats med avloppsvatten från en fastighet med fem boende under ca två års tid (Bild 2). Under denna tid har fosfor adsorberats till ytorna på materialet. I projektet har slaggen tillförts i befintlig granulform (2-6 mm). Krossning/malning har undvikits för att inte skapa nya ytor för fosfor att adsorbera till. Slagg som inte har behandlats med avloppsvatten har använts som referensmaterial.

Jorden

Kriterierna för valet av jord var ett relativt lågt innehåll av växttillgängligt P (P-AL klass II eller låg klass III) samt pH under 6,0. En åkerjord från Borgeby valdes ut för projektet. Jordtypen var en något mullhaltig lerig sand.



Bild 2. Säck med slaggmaterial, sista delen av avloppsreningen

Efter siktning och blandning analyserades jorden av Eurofins Agro Testing Sweden: pH 5,8, P-AL 4,0 mg/100 g (P-AL klass II), K-AL 8,6 mg/100 g (K-AL klass III), Mg-AL 4,5 mg/100 g, Ca-AL 130 mg/100 g lufttorr jord. P-HCl, K-HCl och Cu-HCl var 44 (P-HCl klass 3), 167 (K-HCl klass 3) respektive 8.0 mg/100 g lufttorr jord.

Inkubationsförsöket

Ett inkubationsförsök utfördes med syfte att fastställa mängden näringsämnen som teoretiskt skulle kunna vara tillgänglig för växterna samt om mängden ändras med tiden. Tre olika mängder av den avloppsbehandlade slaggen jämfördes (Tabell 1). AL-analys utfördes av Eurofins Agro Testing Sweden vid försökets start samt efter 30 dagars inkubation vid 19–20 °C. Vid start analyserades även jorden utan slagg. Tre upprepningar fanns för varje behandling och tid.

Odlingsförsöket

Ett odlingsförsök utfördes för att undersöka hur tillförsel av slagg påverkade tillväxten samt växtens upptag av mineralnäringsämnen och tungmetaller från slaggen. Behandlingarna visas i Tabell 1.

En mängd fuktig jord som motsvarade 10 kg torr jord (105 °C) vägdes upp per kruka. Till alla krukor tillsattes en näringslösning som innehöll NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 och MgSO_4 motsvarande 60 kg N, 20 kg S, 20 kg K och 15,2 kg Mg per hektar. Kväve tillsattes som 50% $\text{NH}_4\text{-N}$ och 50% $\text{NO}_3\text{-N}$.

Tre olika givror med fosforbemängd slagg (1,6, 8 och 16 g/kg jord) tillsattes i krukorna. För varje giva fanns fem upprepningar, därutöver fanns fem krukor med 8 g/kg av obehandlad slagg samt fem krukor med jord helt utan tillsatt slagg. Totalt ingick 25 krukor i försöket.

Krukorna placerades slumpmässigt på vagnar i dagsljuskammare i Biotronen. Temperaturen var 20/15 °C dag/natt och daglängden var 16 timmar. Den relativa luftfuktigheten (Rh) var 70%.

Tio frö av värvetesorten Diskett såddes i varje kruka den 20 juni. Den 4 juli justerades antalet plantor till sju per kruka. Under försöket vattnades krukorna med avjoniserat vatten till en bestämd procent av jordens vattenhållande kapacitet två-tre gånger per vecka. Kväve motsvarande 40 kg/ha tillsattes i form av $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ och NH_4NO_3 vid 35 och 54 dagar efter sådd, samt 20 kg/ha som NH_4NO_3 vid 58 dagar efter sådd. Totalt tillfördes N motsvarande 160 kg/ha.

Växterna skördades efter fem månader. Torrvikten vid 65 °C bestämdes separat för kärnorna och för resten av skottet. Kärnor och skott skickades till Eurofins Agro Testing Sweden, för bestämning av innehållet av kväve (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), kalcium (Ca), svavel (S), järn (Fe), mangan (Mn), zink (Zn), koppar (Cu), bor (B), molybden (Mo), natrium (Na), aluminium (Al), kadmium (Cd), krom (Cr), nickel (Ni) och vanadin (V).

Envägs variansanalys med slaggbehandlingarna som faktor har använts för statistisk utvärdering av resultaten. Signifikanta skillnader mellan medelvärden har identifierats med hjälp av Duncan's Multiple Range Test ($p < 0,05$).

Resultat

Inkubationsförsöket

Jordens pH och resultaten av AL-analysen vid starten av inkubationsförsöket samt efter 30 dagars inkubation visas i Figur 1. Mängden slagg som tillsattes hade generellt en större effekt än inkubationstiden och det fanns inga signifikanta samspel mellan slaggmängd och inkubationstid. Varken pH eller P-AL påverkades av inkubationstiden. Medelvärden för pH i jorden (5,8) påverkades inte av den minsta slaggmängden men ökade till 6,2 när den största mängden tillsattes. För P-AL ökade medelvärdet signifikant med ökande slaggmängd från 4,2 vid den lägsta slaggmängden till 5,4 mg/100 g jord när 18,5 g slagg hade tillförts per kg jord.

I medel för de tre slaggbehandlingarna ökade K-AL marginellt, från 8,2 mg/100 g jord vid försökets start till 8,6 efter 30 dagar. Medelvärden för Ca-AL och Mg-AL var 5,0 respektive 154 mg/100 g jord vid start och 6,1 respektive 161 mg/100 g efter 30 dagar. Variationen mellan de tre replikaten var stor efter 30 dagar och ökningen över tid var inte signifikant för varken Ca-AL eller Mg-AL. Både Mg-AL och Ca-AL var dock signifikant högre vid 18,5 g/kg jämfört med de lägre slaggmängderna. I motsats till P, Mg och Ca sjönk både K-AL och K/Mg-kvoten när slaggmängden ökades från 9,27 till 18,5 g/kg jord.

Odlingsförsöket

Biomassa

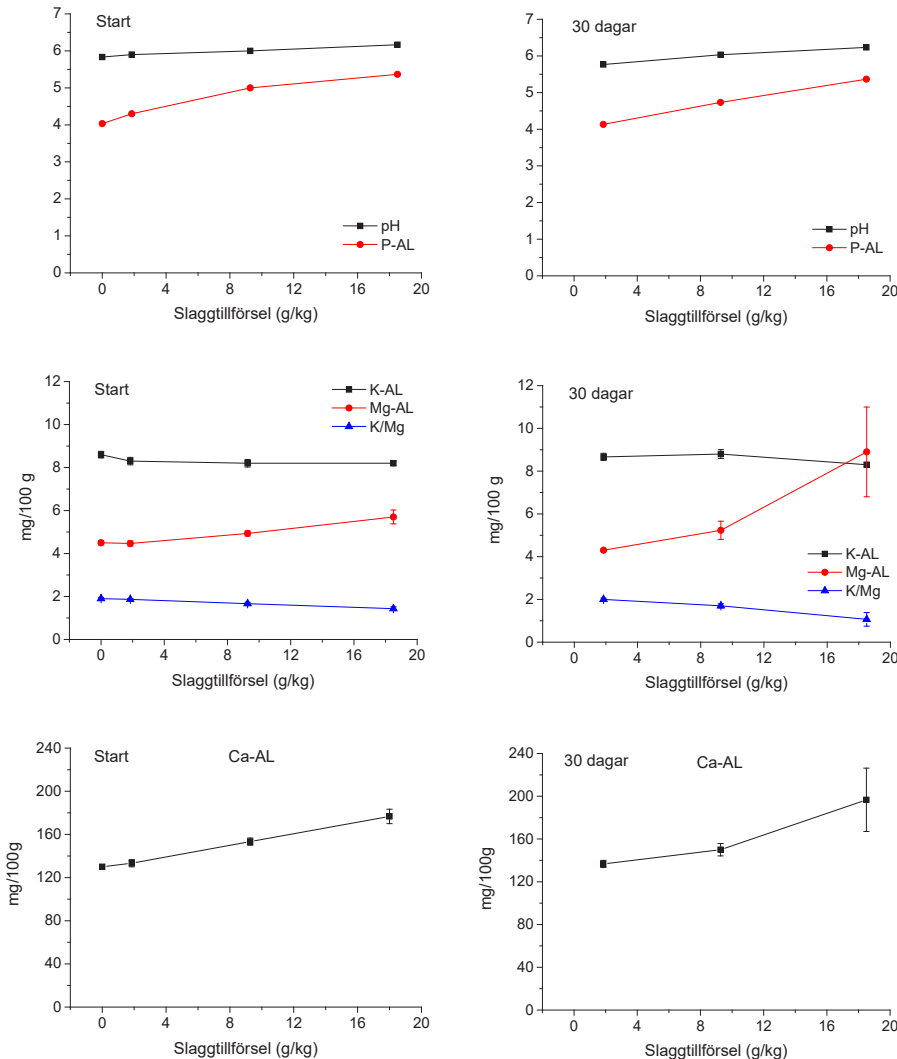
Skottets torrsubstanshalt (% Ts) var signifikant högre för de tre behandlingar där avloppsbehandlad slagg hade tillförts jämfört med behandlingen utan slagg (Figur 2). Den torra biomassan för kärnor, halm, samt för skottet som helhet (data visas ej), visade samma tendens, men skillnaden mellan slaggbehandlingarna var inte signifikant.

Total upptagning av mineralämnen

Den totala upptagningen i skottet (kärnor+halm) av N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Cd och Ni påverkades inte signifikant av slaggbehandlingarna. För P fanns dock samma tendens till något högre upptag vid närvaro av avloppsbehandlad slagg (Figur 2). För Mn var upptaget högre i behandlingen utan slagg, samt vid den minsta slaggmängden (SA1), jämfört med SA2 och SA3 (Figur 2). Ett likande mönster fanns för det totala upptaget av Cd i skottet, men effekten av behandlingarna var inte signifikant (data visas ej). För Zn var det totala upptaget i skottet

Tabell 1. Slaggmängderna som tillsattes jorden i de två försöken.

Behandling	Slaggmängd (g/kg torr jord)	Inkubationsförsök	
		Odlingsförsök	Odlingsförsök
-	S0		0
Slagg	S2		8
Slagg + avlopp	SA1	1,85	1,60
Slagg + avlopp	SA2	9,27	8
Slagg + avlopp	SA3	18,5	16



Figur 1. pH, P-AL, K-AL, Mg-AL, Ca-AL (mg/100 g lufttorr jord) samt K/Mg-kvoten i jord med tillsatts av avloppsbehandlat slagg. Proven har tagits vid start samt efter 30 dagars inkubation.

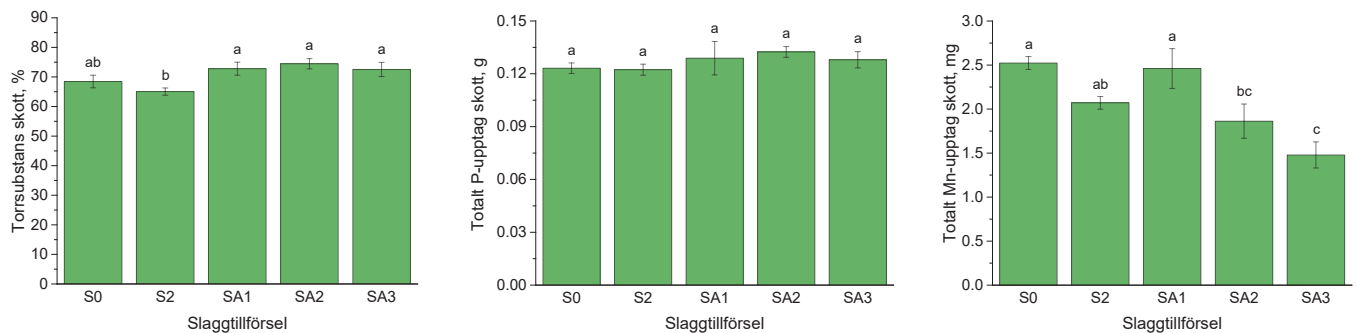
något högre för de två behandlingarna utan avloppsbehandlat slagg (S0 och S2) jämfört med S3 (data visas ej). För Al, B, Cr, Mo och Na kunde totalupptaget i växten inte beräknas eftersom halterna i kärnorna låg under rapporteringsgränsen. Upptaget av Na i halmen var dock högre för SA2 och SA3 jämfört med övriga behandlingar (data visas ej).

Koncentrationerna av mineralämnen-
Koncentrationerna av mineralnäringsämnen i kärnorna och halmen vid skörd (medelvärden för alla behandlingar) visas i tabell 2. För Cd låg koncentrationen för sex av de 20 kärnproven under rapporteringsgränsen på 0,1 mg/kg. För dessa sex användes koncentrationen 0,1 mg/kg. Även halterna av Al, B, Cr, Mo, Na och V i kärnorna låg under respektive rapporteringsgräns. Vid tidpunkten för skörden hade större delen av N och P transporterats till kärnorna medan mycket av K, Ca, Al, B och Cd fanns kvar i halmen.

Signifikanta skillnader mellan slaggbehandlingarna fanns för Mn och Zn i halmen (Figur 3) samt för Mn, Zn i kärnorna och Cd, Na, Ca och Mg i halmen (data visas ej). För Mn var koncentrationerna i både kärnor och halm signifikant lägre för SA2 och SA3 jämfört med S0 och S1. För Cd i halm fanns ett liknande, men svagare mönster. Cd i halmen var signifikant lägre för SA3 jämfört med S0, S2 och SA1.

Koncentrationen av Zn i halmen var signifikant lägre i alla behandlingar med avloppsbehandlad slagg (SA1, SA2, SA3) jämfört med de två kontrollbehandlingarna (S0, S2). För kärnorna var skillnaden signifikant endast mellan kontrollen med slagg (S2) och SA2 samt SA3.

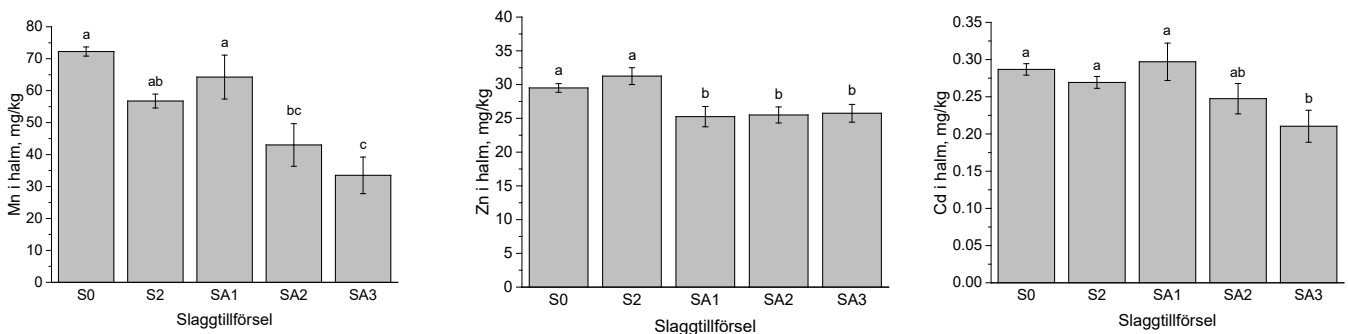
För Ca och Mg var koncentrationerna i halmen generellt lägre för SA1, medan koncentrationen av Na var högre för SA2 och SA3, jämfört med övriga behandlingar.



Figur 2. Procent torrsubstans (% TS) för hela skottet samt det totala upptaget av P och Mn i skottet per kruka som funktion av slaggbehandlingarna. Staplarna visar medelvärden \pm standardfel (SE). Behandlingar med olika bokstäver (gemener) är signifikant olika.

Tabell 2. Medelkoncentrationer av mineralämnin i kärnor och halm vid skörd av odlingsförsöket.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Al	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Cd	Cr	Ni
	% Ts																
	mg/kg Ts																
Kärnor	2,9	0,46	0,55	0,07	0,15	0,19	<0,006	<33	<5,5	5,2	38	40	<0,55	44	0,12	<0,20	0,18
Halm	0,8	0,09	2,49	0,61	0,15	0,19	0,009	308	11,7	6,3	37	54	0,63	27	0,26	0,32	0,13



Figur 3. Koncentrationerna av Mn, Zn, Cd i halm. Medelvärden \pm SE. Behandlingar med olika bokstäver (gemener) är signifikant olika.

Diskussion

Medan skottets torrsvikt inte påverkades signifikant av slaggbehandlingarna var innehåll-
et av torrsubstans (% Ts) högre för veten som
odlats med avloppsbehandlad slagg (SA1-3)
jämfört med de växter som fått obehandlad
slagg (S2). Medan den obehandlade slaggen
kan ha adsorberat fosfatjoner från marklös-
ningen, visade inkubationsförsöket att den
avloppsbehandlade slaggen kan frigöra fosfat
(Figur 1).

Även om det fanns en tendens till högre
upptag av P i skottet i SA-behandlingarna var
detta inte signifikant (Figur 2). Heller inte
koncentrationen av P i kärnorna vid skörd
skilde sig mellan behandlingarna. Även om
mera P har varit tillgängligt i SA-behand-
lingarna är det möjligt att det har frigjorts
och tagits upp för sent för att ha någon större
inverkan på tillväxt eller skörd.

För N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn och
Ni i kärnorna (Tabell 2) låg värdena inom
normalt förekommande koncentrationer i
vetekärnor. Tillgången på makro- eller mik-
ronäringsämnen har alltså troligen inte varit
begränsande för tillväxten. Bor och Mo låg

dock under rapporteringsgränsen för analys-
metoden. Eventuellt kan vattentillgången ha
varit en begränsande faktor för tillväxt och
fosforupptag, något som skulle kunna ha
bidragit till en högre % Ts i skottet i behand-
lingarna med avloppsbehandlad slagg.

Koncentrationen av Cd i kärnorna var på
nivå med andra lågackumulerande vetesorter
(Liu m.fl. 2018). För både Cd, Mn och Zn
verkar ett högre innehåll av avloppsbehand-
lad slagg ha gett lägre växttillgänglighet i vårt
försök (Figur 3) medan tillgängligheten av
Na har ökat.

En reducerad tillgänglighet av Mn, Zn
och Cd kan vara relaterat till högre pH i
substratet för de större slaggmängderna som
användes i försöket (Figur 1). En annan fak-
tor som kan ha bidragit till ett reducerat
växtupptag är en ökad konkurrens med Ca
och Mg vid de större slaggmängderna (Figur
1). För Zn skulle dessutom antagonism med
P kunna vara en orsak till att totalupptaget i
skottet är lägre vid SA2.

Någon negativ påverkan på växterna har
inte kunnat påvisas med de slaggmängder
som användes i försöket. Den högre andelen

torrsubstans för växterna som fått avloppsbe-
handlad slagg kan tyda på att den avloppsbe-
handlade slaggen kan ha en potentiellt posi-
tiv inverkan på tillväxten. För utvärdering av
den långsiktiga effekten av slagg som gödsel-
medel behöver vidare studier göras.

Tack!

Tack till Björn Haase från Höganäs AB och
Stefan Erikson på Alnarp Cleanwater som
har varit delaktiga i projektet.

Referenser

- Havs- och vattenmyndigheten 2016 Havs-
och vattenmyndighetens allmänna råd om
små avloppsanordningar för hushållspill-
vatten. HVMFS 2016:17.
Liu C, Guttieri MJ, Waters BM, Eskridge
KM, Easterly A, Baenziger PS 2018 Cad-
mium concentration in terminal tissues as
tools to select low-cadmium wheat. *Plant
Soil* 430, 127-138.

- Faktabladet är utarbetat inom Institutionen för biosystem och teknologi, enheten för hortikulturell produktionsfysiologi, Box 103, 230 53 Alnarp.
- Projektet är finansierat av Alnarp Cleanwater och Partnerskap Alnarp
- Projektansvarig och ansvarig författare för detta faktablad är Siri Caspersen, Siri.Caspersen@slu.se
- Övrig medarbetare i projektet är Clara Hermansson, Clara.Hermansson@alnarpcleanwater.se
- På webbadressen <http://www.slu.se/site/bibliotek/> kan detta faktablad hämtas elektroniskt.